

# 차량 안전 통신을 위한 새로운 혼잡 제어 알고리즘 제안

이원재  
국방기술품질원

## A New Congestion Control Algorithm for Vehicle to Vehicle Safety Communications

Wonjae Yi

Defense Agency for Technology and Quality

**요약** 차량 안전 서비스는 무선 환경에서 차량 간 통신(Vehicle-to-Vehicle, V2V)을 통하여 운전 중 발생할 수 있는 위험을 사전에 감지하여 운전자에게 알려줌으로써 교통사고와 교통 체증을 줄이는 서비스이다. 차량 안전 서비스를 위해서 차량은 안전 메시지(Basic Safety Message, BSM)를 주기적으로 브로드캐스트 한다. 하지만, 차량 밀집 지역에서 이는 과도한 네트워크 트래픽의 원인이 되고 안전 메시지의 전송실패 확률과 지연을 급격하게 증가시켜 차량 안전 서비스의 안정성을 떨어뜨린다. 본 논문에서는 차량 안전 서비스를 수행하는 과정에서 발생하는 통신 혼잡 문제를 해결하기 위해 Channel Busy Ratio와 차량 수 간의 관계를 수식적으로 근사하고 이를 이용하여 전체 네트워크 혼잡도를 추정한다. 그리고 이를 기준으로 송신전력을 제어하는 새로운 상황인지 기반 송신전력제어 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 네트워크 시뮬레이터인 Qualnet을 이용하여 성능평가를 하였고 그 결과, 전체 네트워크 혼잡도의 추정이 특정 시나리오에서 정확하게 근사 되었으며 송신전력제어를 통해 차량 안전 통신 간 패킷 에러율이 감소한 것을 확인할 수 있었다.

**Abstract** Vehicular safety service reduces traffic accidents and traffic congestion by informing drivers in advance of threats that may occur while driving using vehicle-to-vehicle (V2V) communications in a wireless environment. For vehicle safety services, every vehicle must broadcast a Basic Safety Message(BSM) periodically. In congested traffic areas, however, network congestion can easily happen, reduce the message delivery ratio, increase end-to-end delay and destabilize vehicular safety service system. In this paper, to solve the network congestion problem in vehicle safety communications, we approximate the relationship between channel busy ratio and the number of vehicles and use it to estimate the total network congestion. We propose a new context-aware transmit power control algorithm which controls the transmission power based on total network congestion. The performance of the proposed algorithm is evaluated using Qualnet, a network simulator. As a result, the estimation of total network congestion is accurately approximated except in specific scenarios, and the packet error rate in vehicle safety communication is reduced through transmit power control.

**Keywords** : Congestion Control, Context Awareness, Transmit Power Control, Vehicular Safety Applications, V2X Communication

### 1. 서론

자율주행은 민간뿐만 아니라 국방 분야에서도 활발히 연구되고 있는 최첨단 기술이다. 국방에서는 자율호송을 목표로 무인 지상 차량 기술에 투자하고 있으며[1], 민간

에서도 자동차와 ICT·도로 인프라의 모든 요소를 유기적으로 연결하는 연결성(Connectivity)을 기반으로 교통 안전, 혼잡해소, 사용자 맞춤형 이동서비스뿐만 아니라 자율주행을 가능하게 하는 스마트카 기술이 발전되고 있다. 특히, 차량 안전 서비스를 위한 V2X (Vehicle-to-

본 논문은 저자의 2014년 석사학위 청구 논문을 요약, 보완하였다.

\*Corresponding Author : Wonjae Yi(Defense Agency for Technology and Quality)

Tel: +82-55-751-5570 email: wonjaeyi@dtq.re.kr

Received January 23, 2017

Revised (1st February 27, 2017, 2nd February 28, 2017)

Accepted May 12, 2017

Published May 31, 2017

Everything) 기술은 미래 스마트카를 위한 핵심기술 중 하나로 활발히 연구되고 있다.

차량 안전 서비스는 차량 간 근거리 무선 통신 표준인 WAVE(Wireless Access in Vehicular Access) 표준을 기반으로, 차량 간 통신(Vehicle-to-Vehicle, V2V)을 통해 안전 메시지(Basic Safety Message, BSM)를 주변 차량들에게 주기적으로 브로드캐스트 함으로써 이루어진다. 이렇게 주고받은 정보를 이용하여 각 차량은 분산적으로 협력 충돌방지, 전방 차량 충돌 경고, 차선 변경 지원 서비스 등과 같은 차량 안전 서비스를 운전자에게 제공한다. 이는 차량의 안전운행을 유도하고 교통 혼잡 상황을 개선하여 운전자에게 안전하고 쾌적한 주행환경을 제공한다[2].

차량 안전 서비스는 일반적으로 100ms의 안전 메시지 송신 주기와 200m-400m의 전송 거리를 권장하고 있다[3]. 전송 지연이 길어지게 되면, 차량은 유효기간이 지난 잘못된 정보를 수신하는 등의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 안전 메시지를 전송하는 프로토콜의 설계에 있어서 신뢰성과 전송지연에 대한 요구사항은 엄격하게 규정된다.

하지만, 차량 간 통신이 브로드캐스트 방식으로 이루어지는 특성으로 인해 도심의 교차로 또는 고속도로와 같은 차량 밀집 지역에서는 네트워크에 과도한 트래픽이 발생하고 이는 안전 메시지의 전송 실패확률과 지연을 급격하게 증가시킨다[4].

이러한 네트워크 혼잡상황에서 원활한 차량 간 통신을 제공하기 위해서 기존연구에서는 채널 혼잡도를 측정하여 송신 전력 또는 안전 메시지 생성 속도를 제어하는 알고리즘을 통해 네트워크 혼잡을 완화하였다[4,5,6,7]. 하지만, 기존 연구들은 각 차량이 자신의 싱글 홉 범위의 채널 혼잡도만을 측정하였고 이는 애드혹 환경에서 2홉 거리 내에 있는 통신 노드 간에 발생할 수 있는 숨겨진 노드 문제(Hidden Node Problem), 노출된 노드 문제(Exposed Node Problem)를 해결할 수 없다는 한계가 있다.

따라서 본 논문에서는 2홉 혼잡도를 전체 네트워크 혼잡도로 정의하고 이를 추정한다. 또한, 추정된 전체 네트워크 혼잡도를 기준으로 송신전력을 조정하여 혼잡을 제어하는 알고리즘을 제안한다.

본 논문은 2.1절에서 차량 안전서비스와 차량 간 통신 표준에 대해 간략히 기술하며 2.2절에서 전체 네트워크

혼잡도를 추정하기 위해 Channel Busy Ratio와 주변 차량 수의 관계를 수식적으로 근사한다. 그리고 2.3절에서 전체 네트워크 혼잡도를 추정하여 송신전력을 제어하는 상황인지 기반 송신전력제어 알고리즘을 제안한다. 3장에서 제안한 알고리즘의 성능을 Qualnet 네트워크 시뮬레이터를 이용하여 검증하며 4장 결론으로 끝을 맺는다.

## 2. 관련연구

### 2.1 차량 안전 서비스

V2X 통신을 통한 차량 안전 서비스(Vehicular Safety Application)는 대부분 긴급 상황을 가정하고 있으므로 다른 서비스들에 비해 엄격한 요구사항을 가진다. 이 때문에 안전 메시지의 전달을 위한 차량 간 통신 프로토콜 설계 시, 일반적으로 브로드캐스트 방식이 고려되고 있다. 차량 안전 서비스의 기본적인 패러다임은 다음과 같다[8].

- 1) 각 V2X 단말기를 장착한 차량은 위치, 속도, 가속도 등 차량의 기본적인 정보를 담은 “안전메시지”를 일정 주기로 수백 미터의 반경에 브로드캐스트한다.
- 2) 각 차량은 “안전 메시지”를 수신하여 주변 차량에 대한 상태 정보를 수집한다. 그리고 주변 차량마다 동선을 계산하고, 자신이 움직일 경로와 비교하여 위험 수위를 결정한다.
- 3) 만약 차량이 잠재적인 위험의 존재를 감지한다면 OBU(On Board Unit)은 시각, 청각 또는 촉각적으로 운전자에게 알린다.

### 2.2 차량 간 통신 표준

차량 간 통신 표준기술로 추진되고 있는 WAVE(Wireless Access for Vehicular Environment) 기술은 IEEE 802.11p와 IEEE 1609.x 표준으로 이루어진다. WAVE 기술은 1km의 통신 거리를 지원하며 최소 1Mbps부터 최대 54Mbps의 통신 속도를 지원하는 근거리 무선 통신 표준 기술이다. 본 기술은 고속으로 이동 중인 차량 간의 통신을 위한 기술로, 매우 짧은 무선 접속시간에 개별적 방송 메시지의 전송을 요구한다. 또한, 다중 채널(7개 채널)과 가변적인 송신 전력을 지원하며,

통신 영역의 다중 중첩성과 빠른 초기화를 통한 직접적인 차량 간 통신이 가능하고, 고속 이동 통신에 의한 페이딩 및 인접 채널 간섭에 강인한 채널 설계가 요구된다.

WAVE 표준의 통신 아키텍처는 Fig. 1과 같이 구성된다. IEEE 802.11p PHY는 IEEE 802.11a와 같은 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)을 기반으로 하며 5GHz 대역을 사용한다. 그러나 채널의 대역폭이 10MHz로 줄어드는 등 IEEE 802.11a 표준에서 차량 고속 주행 환경에 알맞게 변경되었다. IEEE 802.11p MAC은 CSMA/CA 기반의 EDCA 프로토콜을 사용한다. 그리고 고속주행환경에 맞게 노드의 통신 절차에 있어서 Authentication과 Association 과정을 없애는 등의 큰 변화를 주었다[9].

IEEE 1609.4는 단말이 다중 채널 환경에서 통신하는 경우 채널 스위칭을 하는 방법을 정의한다. 이를 통해 다중 채널을 동시에 접속하지 못하는 단말끼리도 컨트롤 채널을 서로 같은 시간에 접속하여 V2V 통신을 할 수 있다. IEEE 1609.3은 WAVE Short Message Protocol(WSMP)을 정의한다. WSMP는 TCP/IP의 헤더보다 작은 크기의 헤더를 가짐으로써 메시지를 파싱하는 부담을 차량 간 통신에 맞게 줄였다. IEEE 1609.2는 차량 간 통신에 필요한 보안 관련 표준이며 인증과 암호화 방법에 대해 정의한다[9].

SAE J2735는 차량 간 통신에 필요한 메시지 포맷을 정의하며 SAE J2945.1은 차량 간 통신의 상호운용성을

위한 최소 요구 성능을 정의한다[9].

### 3. 제안하는 혼잡제어 알고리즘

#### 3.1 Channel Busy Ratio와 주변 차량 수의 관계 분석

기존연구에서는 채널 로드를 관찰하여 혼잡을 제어하는 방법을 제안한다[5,6]. 본 논문에서도 Channel Busy Ratio(CBR)라는 개념을 도입하여 채널 로드를 관찰한다.

채널 로드는 가까운 거리에서 통신을 수행하는 노드, 즉 주변 차량이 많을수록 늘어나는 경향을 가지므로 CBR과 주변 차량 수 간의 관계를 분석하는 것은 의미가 있다. 본 논문에서는 CBR과 주변 차량 수의 관계를 수식적으로 근사하고 이를 이용하여 전체 네트워크 혼잡도를 추정한다.

본 논문에서는 무선 애드 혹 통신환경에서 Hidden Node Problem, Exposed Node Problem과 같은 문제들이 2홉 거리 내에 있는 노드 간에 발생하므로 전체 네트워크 혼잡도를 2홉 네트워크 혼잡도로 정의한다.

CBR은 안전 메시지 전송 주기 내에 채널이 활용되는 정도를 비율로 나타낸 것이다. 이는 (수식1)과 같이 패킷의 송수신 시간( $t_T, t_R$ )을 안전 메시지 전송주기( $T$ )로 나누어 값으로 정의할 수 있다. 본 논문에서는, CBR이 채널이 얼마나 혼잡한지 알려주는 지표로 사용한다.

$$CBR = \frac{t_T + t_R}{T}, \quad (\text{수식1})$$

주변 차량(Remote Vehicle, RV) 수는 자차(Host Vehicle, HV)의 1홉 통신 거리 안에 있는 차량의 수로 HV와 통신이 가능한 거리에 있는 차량의 수를 뜻한다.

본 논문에서는 CBR과 주변 차량 수 간의 관계를 정리하기 위해 S. Bai 논문의 가상시간 프레임(Virtual Time Frame, VTF) 개념을 변형 적용하여 가상시간 슬롯을 도입한다[10]. 가상시간 슬롯의 크기( $S_s$ )는 하나의 안전 메시지를 송신하거나 수신하는데 걸리는 시간이고, 가상시간 슬롯의 수( $S_n$ )는 안전메시지 전송주기( $T$ ) 동안 최대 안전메시지를 송수신할 수 있는 횟수이다. 따라서, 가상시간 슬롯의 크기는 안전메시지의 크기( $M$ )를 통

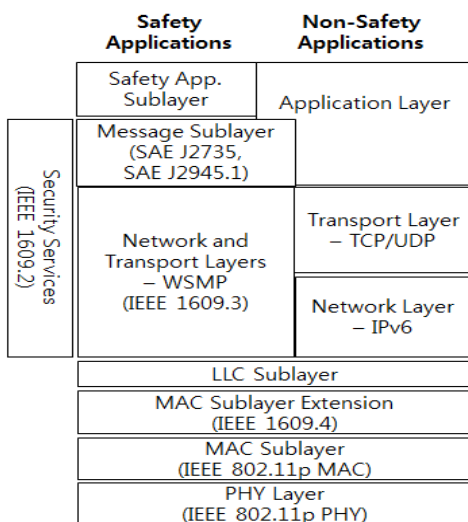


Fig. 1. Wireless Access in Vehicular Environment Communication Standard Architecture[9]

신 속도(C)으로 나눈 것이고, 가상시간 슬롯의 수는 안전메시지 전송주기를 가상시간 슬롯의 크기로 나눈 것이다. 이를 수식으로 나타내면 (수식2, 3)과 같다.

$$S_s = \frac{M}{C}, \quad (\text{수식2})$$

$$S_n = \frac{T}{S_s}, \quad (\text{수식3})$$

예를 들어, 안전메시지의 크기를 400바이트로 가정하고, 안전메시지 브로드캐스트 주기를 100ms로 고정하였을 경우 3Mbps 통신속력을 기준으로 하나의 가상시간 슬롯의 크기는 약 1.08ms이고 가상시간 슬롯의 수는 약 93개이다.

CBR은 안전메시지 전송 주기 내에 채널이 활용되는 비율이므로 가상시간 슬롯 크기와 가상시간 슬롯의 수, 그리고 하나의 가상시간 슬롯이 사용될 확률(p)의 곱을 안전메시지 전송주기(T)로 나눈 것으로 (수식4)와 같이 표현할 수 있다.

$$CBR = \frac{S_s \times S_n \times p}{T} = p, \quad (\text{수식4})$$

여기서 하나의 가상시간 슬롯이 사용되지 않을 확률은 1홉 거리 내의 RV 수를 N이라고 한다면 (수식5)와 같이 표현된다. 따라서, CBR은 (수식6)으로 근사할 수 있다.

$$1 - p \approx \left(\frac{S_n - 1}{S_n}\right)^{N+1}, \quad (\text{수식5})$$

$$CBR \approx \left(1 - \left(\frac{S_n - 1}{S_n}\right)^{N+1}\right), \quad (\text{수식6})$$

### 3.2 상황인지 기반 송신전력제어 알고리즘

본 논문에서는 송신전력을 전체혼잡도를 기준으로 조정하는 알고리즘을 제안한다. 각 차량은 전체혼잡도(CBR<sub>2hop</sub>)를 계산하고 이를 기준으로 송신전력(TX Power)을 증감하여 채널 로드를 일정하게 유지한다. 또한, Table 1.와 같이 송신 전력당 통신 거리를 알고 있다고 가정한다. Table 2.은 제안하는 알고리즘의 Pseudo code이다.

**Table 1.** Communication distance according to TX Power in 3Mbps, RX Sensitivity - 92.0 environment

TX Power(dBm)	TX Range(meters)
5.0	125.866
6.0	141.224
7.0	158.456
8.0	177.790
9.0	199.485
10.0	222.308
11.0	249.433
12.0	279.869
13.0	314.019
14.0	352.334
15.0	395.326
16.0	443.563
17.0	497.686
18.0	557.235
19.0	590.255
20.0	625.229

**Table 2.** Pseudo code of Context-aware Transmit Power Control Algorithm

```

while(1)
{
    CBR2hop = CalculateWholeCBR(CBR1hop, Rd1, Rd2, ..., RdN)
    If(CBR2hop<0.5)
        Increase Transmit Power Level()
    else
        Decrease Transmit Power Level()
    Sleep(Message Transmit Period)
}
    
```

전체 네트워크 혼잡도(CBR<sub>2hop</sub>)를 추정하기 위해 HV는 1홉 거리의 CBR(CBR<sub>1hop</sub>)과 주변 모든 RV로부터 수신한 TX Power 정보를 이용한다. 이를 수식으로 작성하면 (수식7)과 같다. 여기서 CBR<sub>1hop</sub>은 HV에서 실측한 값이고 Rd는 주변 RV들로부터 수신한 TX Power 정보를 이용해 계산한 RV 주변의 차량 밀도이다. OA는 RV와 HV의 통신반경이 겹치는 지역의 넓이이다.

$$CBR_{2hop} = CBR_{1hop} + \sum_{i=1}^N Rd_i \times OA_i, \quad (\text{수식7})$$

$$Rd = \frac{N}{TX\_Area_{2hop}}, \quad (\text{수식8})$$

$$N = \frac{\log(1 - CBR_{2hop})}{\log\left(\frac{S_n - 1}{S_n}\right)} - 1, \quad (\text{수식9})$$

$Rd$ 는 주변 차량 밀도로 RV의 주변 차량 수를 2홉 통신범위( $TX\_Area_{2hop}$ )로 나눈 것이고 여기서 주변 차량 수는 (수식6)의 역함수인 (수식9)를 통해 계산할 수 있다. 이는  $CBR_{2hop}$ 이 제안하는 알고리즘에 의해 항상 0.5로 유지된다고 가정하기에 가능하다.

(수식7)과 같이 HV에서 모든 RV의  $Rd$ 를 계산할 때, RV 간에 겹치는 통신범위를 고려하면  $CBR_{2hop}$ 을 계산하는 알고리즘의 복잡도는  $O(2^n)$ 가 된다. 그러므로 본 논문에서는 HV의 동, 서, 남, 북, 북동, 북서, 남동, 남서에서 가장 먼 8개 RV를 샘플링 하여  $CBR_{2hop}$ 을 추정하였다.

## 4. 제안하는 알고리즘의 검증 및 성능평가

### 4.1 시뮬레이션 환경 설정

본 논문에서는 제안하는 상황인지 기반 송신 전력 제어 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통해 검증한다. 시뮬레이션 진행은 네트워크 시뮬레이터인 Qualnet을 이용하여 수행하였다.

Table 3. Configuration of Simulations

Layer	Parameter	Value
Facility	Nmber of Neighbor Measuring Interval	100ms
	Neighbor Table Flush Interval	500ms
	BSM Interval	100ms
	Initial TX Power	15.0dBm
	BSM Size	400 Bytes
	TX Power Level	5.0~20.0 dBm
MAC	IEEE 802.11p	
PHY	CBR Measuring Interval	100ms
	PER Measuring Interval	100ms
	Channel Bandwidth	10MHz
	Frequency	5.9GHz
	Data Rate	3Mbps
	RX Sensitivity	-92.0dBm

상황인지 기반 송신 전력 제어 알고리즘의 성능 평가를 위한 파라미터 값은 Table 3.과 같다. PHY 계층은 IEEE 802.11p 표준에 맞게 5.9GHz 주파수 대역과 10MHz 채널 대역폭을 가진다. 또한, Data rate는 3Mbps 이고 RX Sensitivity는 -92dBm으로 설정되었다. 그리고

1홉 Channel Busy Ratio와 Packet Error Rate는 100ms에 한 번씩 PHY 계층에서 측정된다.

MAC은 IEEE 802.11p MAC 표준의 Carrier Sensing Multiple Access with Collision Avoidance(CSMA/CA) 프로토콜을 기반으로 Enhanced Distributed Channel Access(EDCA)를 사용한다. 그리고 IEEE 802.11p MAC에서는 Association과 Authentication으로 인한 지연을 최소화하기 위해 사용하지 않으며 RTS와 CTS 또한 사용하지 않는다. 이를 시뮬레이션에 그대로 반영하였다.

Facility 계층은 Application 계층의 바로 아래 계층으로 본 논문에서 혼잡제어를 담당한다. 주변 차량(Neighbor)으로부터 받은 안전메시지(BSM) 정보를 이용하여 주변 차량 테이블을 생성 및 관리하며 주변 차량 정보를 감시한다. 또한, PHY 계층으로부터 받은 1홉 CBR 정보를 이용하여 2홉 혼잡도를 측정하여 이를 기반으로 송신전력 제어를 한다. 변경된 송신 전력은 다시 PHY 계층으로 전송된다. 이때, 변경되는 송신 전력의 범위는 5.0에서 20.0dBm 사이이고, 해당 범위 이하 또는 이상으로는 송신전력을 변화시키지 않는다. 또한, 주변 노드 테이블의 엔트리는 해당 노드로부터 Neighbor Node Flush Interval 시간(500ms) 안에 메시지를 받지 않으면 해당 엔트리를 삭제하며 주변노드 테이블로부터 주변 노드 수를 측정하는 주기는 Number of Neighbor Measuring Interval로 100ms이다. 안전메시지의 크기는 400바이트로 설정하였고 전송주기(T)는 100ms이다.

### 4.2 시뮬레이션 시나리오 설정

본 논문에서 제안하는 알고리즘을 검증하기 위한 시뮬레이션은 Table 4.와 같은 2차선 3km 고속도로 환경에서 30초 동안 수행되었다. 노드는 움직이지 않는 정적인 환경에서 수행하였다.

또한, 상황인지 기반 송신전력제어 알고리즘을 적용하지 않은 경우(TPC Off)와 적용한 경우(TPC On)를 나누어 시뮬레이션하였다. 송신전력제어 알고리즘이 적용되지 않은 시나리오에서 차량의 송신전력은 15.0dBm 그대로 유지되며 알고리즘이 적용된 경우의 초기 송신전력은 15.0dBm이다.

Table 4. Scenarios of Simulations

Total Number of Nodes	66	128	302
Node Location Gap(m)	80	40	20
Number of Lanes	2	2	2
Simulation Time(s)	30	30	30
Description	Free	Medium	Heavy

### 4.3 성능 지표

제한한 2홉 혼잡도 추정 기반 안전 메시지 송신전력 제어 알고리즘의 성능 평가를 하기 위해서 두 가지를 평가한다. 2홉의 혼잡도가 제대로 추정되었는지 그리고 송신 전력을 조절하는 것으로 인해 안전 메시지 전송에 있어 혼잡이 완화되었는지의 여부이다. 이를 위해서 다음과 같은 성능 지표를 사용한다.

- Ideal CBR<sub>2hop</sub> : 모든 노드가 시뮬레이션에서 측정된 CBR을 직접 공유하여 2홉 CBR을 계산한 것
- Estimated CBR<sub>2hop</sub> : 본 논문에서 제안한 알고리즘을 통해 공유된 TX Power를 이용해 2홉 CBR을 추정한 것
- CBR<sub>1hop</sub> : 단위시간 동안 채널이 사용되는 정도로 높을수록 채널의 활용률이 높음
- PER : 단위시간동안 수신한 패킷 중 에러가 발생한 패킷의 비율로 낮을수록 통신 신뢰성이 높음

## 4.4 시뮬레이션 결과

### 4.4.1 전체 네트워크 혼잡도 추정

전체 네트워크 혼잡도 추정이 제대로 되었는지 검증하기 위해 Ideal CBR<sub>2hop</sub>과 Estimated CBR<sub>2hop</sub>을 비교하였다. Fig. 2는 시뮬레이션의 모든 차량이 계산한 수치를 평균 내어 비교한 것으로 Heavy 시나리오를 제외한 Medium 또는 Free 시나리오에서는 유사하게 추정됨을 알 수 있다. Heavy 시나리오에서 유사하게 추정되지 않는 이유는 제안하는 알고리즘이 각 차량에서 분산적으로 CBR<sub>2hop</sub>을 0.5로 유지한다고 가정하기 때문이다. 하지만, Heavy 시나리오에서는 본 가정을 만족시킬 수 없으므로 Estimated CBR<sub>2hop</sub> 또한 오차가 많이 발생할 수밖에 없다. Fig. 3은 시간에 따라 Free 시나리오에서 Ideal CBR<sub>2hop</sub>과 Estimated CBR<sub>2hop</sub>을 비교한 것으로 거의 완벽하게 추정됨을 알 수 있다.

### 4.4.2 상황인지 기반 송신전력제어 알고리즘

제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 알고리즘이 적용된 경우와 적용되지 않은 경우를 시뮬레이션하여 Packet Error Rate(PER)과 1홉 Channel Busy Ratio(CBR<sub>1hop</sub>) 차량들이 분포되어있는 밀도에 따라 비교하였다. Fig. 4와 Fig. 5은 그 결과이다. Fig. 4에 따르면 제안하는 알고리즘이 적용된 경우(TPC ON) Packet Error Rate는 모든 시나리오에서 0.1이하의 에러율을 보여주었고 제안하는 알고리즘이 적용되지 않은 경우(TPC OFF)는 Heavy 시나리오에서 Packet Error Rate이 0.1을 초과함을 보여준다. 이는 제안하는 알고리즘이 혼잡상황에서 효과적으로 Packet Error Rate을 줄이고 V2V 통신의 신뢰성을 높였음을 보여준다.

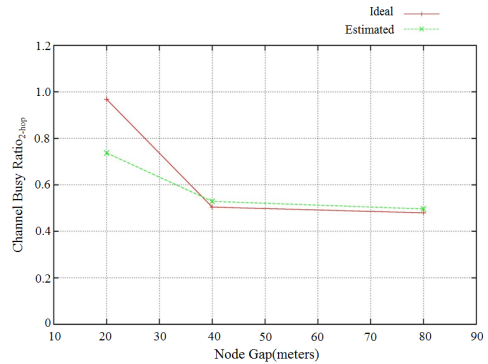


Fig. 2. Comparison of Ideal CBR<sub>2hop</sub> with Estimated CBR<sub>2hop</sub> according to Node gap

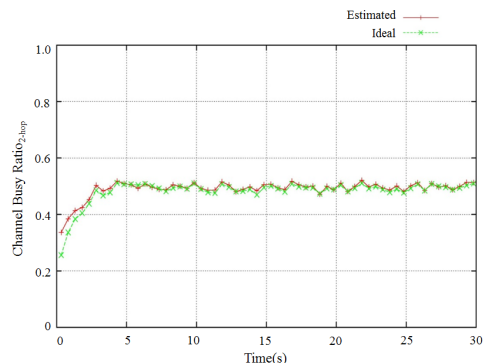


Fig. 3. Comparison of Ideal CBR<sub>2hop</sub> with Estimated CBR<sub>2hop</sub> according to time(In the Free traffic scenario)

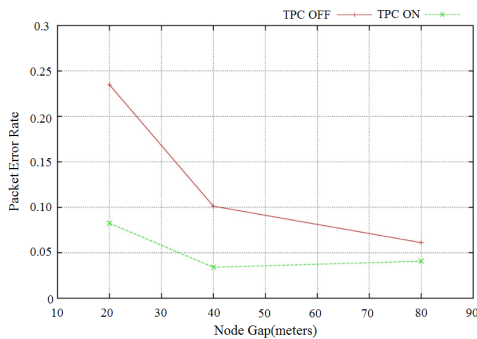


Fig. 4. Comparison of Packet Error Rate with and without Context-aware Transmit Power Control

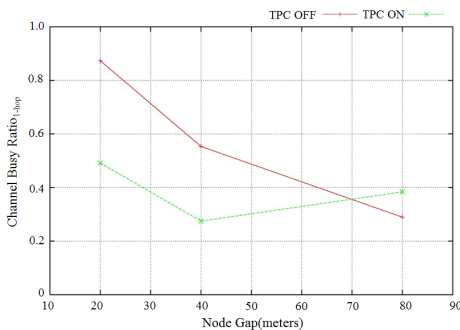


Fig. 5. Comparison of Channel Busy Ratio\_hop with and without Context-aware Transmit Power Control

Fig. 5를 보면 Heavy, Medium 시나리오에서 제안하는 알고리즘이 적용된 경우에 그렇지 않은 경우보다  $CBR_{hop}$ 이 낮고 Free 시나리오에서는 더 높은 것을 알 수 있다. 이를 통해 제안하는 알고리즘이 혼잡이 큰 시나리오(Heavy, Medium)에서는 송신전력을 줄임으로써 채널 활용도를 떨어뜨리지만, PER을 줄여 통신 신뢰도를 높인다는 것과 혼잡이 작은 시나리오(Free)에서는 송신전력을 높임으로써 채널 활용도를 높여 통신효율을 증가시킨다는 것을 보여준다.

## 5. 결론

본 논문에서는 원활한 차량 안전 서비스 제공의 핵심인 혼잡제어를 위한 상황인지 기반 송신전력제어 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 WSMP 메시지의 헤더에 있는 TX Power 필드를 이용하여 전체 네트워크 혼잡도를 추정하고 이를 기반으로 전체 네트워크 혼잡도

를 일정하게 유지할 수 있도록 송신전력을 제어한다. Qualnet을 통하여 시뮬레이션한 결과 전체 네트워크 혼잡도의 추정은 특정 시나리오를 제외하고 정확하게 수행되었고, 상황인지 기반 송신전력제어 알고리즘은 패킷 에러율을 낮춰 차량 간 통신의 신뢰성을 높임을 보여주었다.

앞으로 VSC-A[3]의 목표인 10% 이하의 패킷 에러율을 유지하기 위해서 적절한 전체 네트워크의 채널 로드 에 대한 연구가 필요하다. 또한, 제한한 알고리즘은 차량이 움직이지 않는 정적인 시뮬레이션 환경에서 검증된 만큼 향후, 차량의 이동이 있는 동적인 환경에서의 검증 또한 필요하다.

## References

- [1] IHS, "Shouldering the load: militaries look to unmanned beasts of burden", *Jane's International Defence Review*, <http://janes.ihs.com>, 2016.
- [2] Hanbyeog Cho, "Implementation and standard of ITS / Telematics service using inter-vehicle communication", *The Korean Institute of Communications and Information Science*, vol. 25, no. 1, pp. 69-73, 2008.
- [3] National Highway Traffic Safety Administration, Vehicle Safety communications - Applications (VSC-A) Final Report:Appendix Volume 1 System Design and Objective Test, <https://www.nhtsa.gov>, 2011.
- [4] Yu-Chee TsengSze-Yao NiYuh-Shyan ChenJang-Ping Sheu, "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network", *Wireless Networks*, vol. 8, no. 2, pp. 153-67, Mar. 2002.
- [5] Torrent-Moreno M., Mittag J., Santi P., Hartenstein P., "Vehicle-to-Vehicle Communication: Fair Transmit Power Control for Safety-Critical Information," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 58, no. 7, pp. 3684-3703, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1109/TVT.2009.2017545>
- [6] C. Khorakhun, H. Busche, and H. Rohling. Congestion Control for VANETs based on Power or Rate Adaptation. In *5th Int'l Workshop on Intelligent Transportation (WIT)*, 2008.
- [7] Chen Q., Schmidt-Eisenlohr F., Jiang D., Torrent-Moreno M., Delgrossi L., Hartenstein H., "Overhaul of IEEE 802.11 Modeling and Simulation in NS-2," *Proc. of the ACMMSWiM*, pp. 159-168, Oct. 2007 DOI: <https://doi.org/10.1145/1298126.1298155>
- [8] Doojin Um, Songnan Bai, Jaeil Jung, "Performance analysis of Contention-based Broadcast Schemes for Vehicular Safety Applications in Vehicular Ad hoc Networks," *KSAE Conference*, 2009.
- [9] Kenny J. B., "Dedicated Short-Range Communications (DSRC) Standards in the United States," *Proc. of the*

*IEEE*, vol. 99, no. 7, pp. 1162-1182, Jul. 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2011.2132790>

- [10] Songnan Bai, Junho Oh, Jae-il Jung, "Context awareness beacon scheduling scheme for congestion control in vehicle to vehicle safety communication," *Ad Hoc Networks*, pp. 2049-2058, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2012.02.014>

---

이 원 재(Wonjae Yi)

[정회원]



- 2012년 2월 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 학사
- 2014년 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학부 석사
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 기술기획부 전략기획팀 연구원

<관심분야>

지휘통제, 전송통신 분야 국방과학기술 R&D 전략, 기획