고속도로 환경에서 군집주행 서비스 요구사항에 대한 WAVE 통신시스템 성능 분석

WAVE System Performance for Platooning Vehicle Service Requirements Under Highway Environments

송 유 승* · 최 현 균**

* 주저자 및 교신저자 : 한국전자통신연구원 자율주행시스템연구그룹 책임연구원
** 공저자 : 한국전자통신연구원 자율주행시스템연구그룹 책임연구원

Yoo-seung Song* · Hyun Kyun Choi**

* Electronics and Telecommunications Research Institute
** Electronics and Telecommunications Research Institute

† Corresponding author : Yoo-seung Song, yssong00@etri.re.kr

Vol.16 No.1(2017)
February, 2017
pp.147~156

ISSN 1738-0774(Print)
ISSN 2384-1729(On-line)
https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.1.147

Received 25 November 2016
Revised 14 December 2016
Accepted 19 December 2016

ⓒ 2017. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

본 논문에서 군집주행 서비스를 위해 단체표준에서 정의한 서비스 요구사항을 근거로 하여 WAVE 통신시스템의 성능을 분석하였다. 통신시스템의 주요 성능 파라미터로 제시되는 패킷 에러율과 지연시간 요구조건은 군집으로 주행하는 차량의 제어와 안전을 보장하기 위해 반드시 만족되어야 한다. 실험 시나리오는 크게 군집으로 주행차량들만 존재하는 경우, 통신 반경 내에 다른 간섭차량들이 존재하는 경우 그리고 통신범위 밖에 히든차량들이 존재하는 경우로 나누어 패킷 에러율과 평균지연시간을 분석하였다. 패킷 에러율과 지연시간은 앞에서 언급한 차량들의 토폴로지와 차량 주행속도 그리고 통신반경을 고려하여 모델링 하였다. 수치적 분석 결과는 패킷의 크기, 패킷 생성 주기 그리고 전송속도에 대해 수행되었다. 결론적으로 각 표준에서 정의한 군집주행 성능요구사항에 대해 WAVE 통신 시스템이 제공할 수 있는 안정적인 패킷 성공률과 지연시간 등에 대한 범위를 제시하였다.

핵심어 : 스마트카, 군집주행, WAVE, 차량용 통신시스템

ABSTRACT

This paper analyzes the performance limit of WAVE system for the platooning service requirements which is referred from the de facto standards. The performance of the packet error rate and mean delay as key parameters in the wireless communication systems should be satisfied to provide safety to the platooning vehicles. The test scenarios are conducted by considering the following vehicle groups: platooning vehicles, vehicles within a hop distance and vehicles within two hop distance(called hidden node vehicles). The models of packet error rate and delay deals with the topology of aforementioned vehicle groups, vehicle speed and communication range. The numerical results are obtained in terms of packet size, packet arrival rate and data transmission rate. Finally, this paper suggests the robust range of packet error rate and delay for the WAVE system to provide the platooning vehicle service.

Key words : Smart Car, Connected Car, Platooning, WAVE, Vehicular Communication System

Ⅰ. 서 론

최근 Information and Communication Technology 기술을 차량에 적용함으로써 종래의 교통 문제를 해결할 뿐만 아니라 보다 편리하고 안전한 교통 서비스를 제공하기 위한 연구개발과 표준화 작업 등이 진행되어 왔으며 현재는 국내외적으로 시범서비스를 통해 상용화를 준비하고 있는 시점에 이르렀다(Ministry of Land, Infrastructure and transport, 2016), (U.S. Department of Transportation, 2016), and (Eropean Commission DG CONNECT, 2016). 미국자동차공학회에서 정의한 자율주행자동차의 레벨(SAE international J3016, 2016)에 따르면 현재 개발 중인 차량은 제한된 주행환경에서 자율주행이 가능한 3~4레벨에 도달하였으며 2030년경에는 특별한 환경적 제약 없이 자율주행이 가능한 단계까지 기술개발이 이뤄질 전망이다.

현재 차량에 다양한 센서들과 차량용 무선통신장치 및 통신 인프라를 통해 제공 가능한 Intelligent Transportation System의 대표적인 서비스들로는 교통장애물경고, 감응순항제어, 전방차량충돌경고 등 다양하며(Moon, 2007), 3GPP에서도 최근 군집주행, 원격주행제어, 교차로 실시간 맵 정보 제공 등의 다양한 유스케이스들을 발표하였다(3GPP TR 22.886, 2016). 이러한 서비스들은 교통의 흐름을 개선하고 운전자의 피로도 개선 및 사고를 감소시킬 수 있는 안전서비스들이다.

특히 군집주행의 경우 차량간 통신을 통해 차간 거리를 좁혀서 주행이 가능함으로 도로의 효율성과 차량의 연비를 크게 개선할 수 있는 획기적인 서비스라고 할 수 있다. 이러한 안전한 주행서비스를 제공하기 위해서는 센서의 정확도와 통신장치의 신뢰성이 매우 중요하다. 차량의 속도와 차간거리를 고려하여 차량들이 방송하는 안전메시지의 지연시간은 수십ms 이내로 도달하여야 하며 전송 성공률도 99.99% 이상의 성능이 요구된다(TTA, 2016).

최근 다수의 차량노드들이 존재하는 환경에서 무선통신의 신뢰성을 보장하기 위한 다양한 연구가 진행되었다. 먼저 채널이 포화된 조건에서 통신장치의 전송파워나 메시지의 전송주기를 제어하거나 혹은 상기 두 개를 함께 제어하는 방식도 연구되었다(Marc, 2009), (Bansal et al., 2013), and (Huang et al., 2010). 그밖에도 데이터의 전송속도, 경쟁윈도우 크기, 반송파 감지 문턱값 등을 제어하는 다양한 연구가 진행되었다(Pravin et al., 2008), (Razvan et al., 2011), and (Rober et al., 2011). 그러나 이러한 연구들은 무선채널이 과부하 상태를 전제로 한 연구들이며 군집주행의 경우 차량 노드들이 5대 정도 안팎임을 고려할 때 채널이 포화된 상태라고 판단할 수는 없다.

채널이 혼잡하지 않는 상황에서 차량의 대수에 따른 전송 패킷의 지연시간과 성공률을 분석하는 연구도 함께 진행되었다. 차량 노드의 대수, 패킷의 크기, 경쟁윈도우 크기 등을 파라미터로 하여 패킷의 성공률과 지연시간을 수식적으로 분석하고 실제 구현된 시뮬레이션 결과와 비교를 통해 상호 검증을 실시하였다(Hassan et al., 2011). 그러나 이러한 연구결과는 특정 Intelligent Transportation System 서비스에서 해당 요구사항들을 반영하지 않고 연구된 결과임으로 표준문서의 요구사항에 근거한 성능분석이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 표준문서(3GPP TR 22.886, 2016), (TTA, 2016), and (METIS, 2013)를 바탕으로 군집주행 서비스를 위한 성능요구조건을 근거로 하여 Wireless Access in Vehicular Environments 통신시스템의 성능을 수식적으로 분석하고 통신시스템의 한계와 범위를 제시한다.

본 논문의 구성은 2장에서 차량간 통신환경의 모델링을 확보하고 3장에서는 군집주행 환경에서의 차량노드의 통신성능을 다양한 실험 시나리오들을 통해 분석한다. 4장에서는 본 논문을 통해 얻어진 결과들을 결론으로 정리한다.

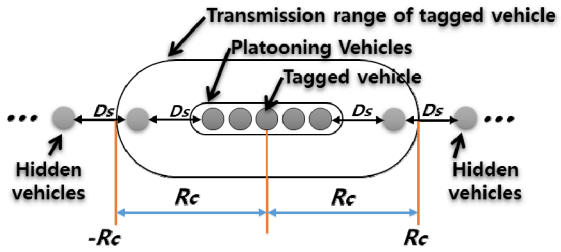
Ⅱ. 통신환경 모델링

본 장에서는 군집주행에 참여하는 차량노드들과 주변 다수의 차량노드들이 차량통신에 간섭을 주는 환경에서 차량간 통신환경을 모델링한다.

1. 차량간 통신 환경 및 조건

군집으로 주행하는 차량노드들과 통신범위 안팎의 범위에서 차량노드들이 함께 공존하는 고속도로 환경을 가정한다. 차량에 탑재된 통신장치들의 성능, 통신반경(*Rc*) 그리고 전파감지 반경은 모두 동일하다고 가정한다. <Fig. 1>에서 노란색 원은 군집주행을 하는 차량노드들을 의미하며 회색 원은 군집주행에는 참여하지 않고 주기적으로 방송메시지를 전송하는 차량을 의미한다. 군집으로 주행하는 차량노드들의 수를 *Np*, Tagged vehicle (*TV*)의 통신범위에 존재하지만 군집주행 서비스에 참여하지 않는 차량의 수를 N_m 그리고 *TV*의 통신범위 밖에 존재하면서 히든차량노드로 존재하는 차량의 수를 N_h라고 정의한다.

일반적으로 고속도로에서 주행하는 차간 안전거리(*Ds*)는 속도에 비례하여 증가하지만 군집으로 주행하는 차간의 거리는 센서와 통신을 통해 최대 1~2m 정도까지 거리를 유지할 수 있다. 본 논문에서는 군집으로 주행하는 차간의 거리를 1m로 가정하며 최대 5개까지의 군집주행 차량의 수를 제한한다. 따라서 차량의 길이가 5m라고 가정할 경우 군집주행에 참여하는 차량의 총 길이는 대략 30m가 된다.



〈Fig. 1〉 Vehicle to vehicle communication model including platooning vehicles and hidden node vehicles

속도 *v*로 주행하는 차량의 길이를 *Lv*라고 할 때 차간 안전거리(*Ds*)는 다음과 같이 구할 수 있다(Nguyen, et al., 2012).

$$D_s = \tau_r v + \frac{v^2}{2\alpha} + L_v \tag{1}$$

τ_r은 사건을 감지 후 브레이크를 작동하는데 까지 소요된 시간을 의미하며 *a*는 감가속 상수를 의미한다. 예를 들어 차량이 시속 100km/h의 속도로 주행 시 수식(1)에 의해 차간안전거리는 90m이다. 본 논문에서는 군집으로 주행하는 차량노드 이외의 차량들은 안전거리를 유지하고 균일하게 분포한다고 가정한다. 통신반경과 차간 안전거리에 비해 군집으로 주행하는 차량들의 총거리가 상대적으로 미비함으로 하나의 노드로 가정할 경우 앞서 정의한 N_m은 다음과 같이 구해진다.

$$N_m = \lfloor 2R_c / D_s \rfloor \quad (2)$$

여기서 $\lfloor \cdot \rfloor$는 바닥함수를 의미한다.

*TV*의 통신반경(*Rc*)이 300m인 경우 통신범위 안에 6대의 *Nm*이 존재하게 된다. N_h도 결론적으로 수식(2)와 동일한 계산식을 갖는다. *TV*의 통신범위에 존재하는 모든 차량노드의 수는 N_p와 N_m의 합으로 존재하게 된다.

2. 차량간 통신 성능

본 절에서는 참고문헌(Hassan, 2011)과 앞 절에서 정의한 수식을 활용하여 다수의 차량노드에 대한 전송패킷의 성공률과 지연시간에 대한 수식을 정리한다.

1) 패킷충돌율

각 차량노드에서 생성되는 방송메시지는 포이즌 프로세스를 따르며 매 초당 λ의 주기로 데이터 패킷을 버퍼에 저장하고 각 차량노드의 버퍼는 M/G/1/∞ 모델을 가진다고 가정한다.

새로운 패킷이 버퍼에 도달했을 때 채널이 점유되어 있을 확률 P_o는 다음과 같다.

$$P_o = (N_p + N_m - 1)\lambda T_p (1 - P_c/2) \quad (3)$$

T_p는 DIFS 시간을 포함한 패킷을 완전히 전송하는데 필요한 소요시간을 의미하며 P_c는 전송한 패킷이 다른 차량노드의 패킷과 충돌할 확률(Packet Collision Rate)을 의미하며 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_c &= (1 - p_{c1})(1 - p_{c2}) \\ p_{c1} &= (1 - \lambda E[T_S])(1 - P_o) \\ p_{c2} &= (1 - \lambda E[T_S]\tau)^{N_p + N_m - 1} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 E[TS]는 한 패킷을 서비스 하는데 소요되는 평균시간을 의미하며 τ는 하나의 차량노드가 전송버퍼에 있는 한 패킷을 임의의 슬롯 시간에 전송을 시도할 확률을 의미한다. 따라서 패킷 전송 성공률은 1-P_c로 구할 수 있다.

*TV*을 기준으로 통신범위 R_c와 $2R_c$ 혹은 $-R_c$와 $-2R_c$ 사이에 존재하는 히든차량노드들이 존재하는 경우 패킷 충돌확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P_{hc} &= 1 - (1 - P_c) P(H_1) P(H_2) \\ P(H_1) &= 1 - N_h \lambda T_p (1 - P_c/2) \\ P(H_2) &= e^{-\lambda N_h (t_{data} - t_{DIFS})} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 t_{data}는 패킷 전송 소요시간을 의미하며 t_{DIFS}는 DIFS 시간을 의미한다.

2) 평균지연시간

하나의 패킷이 전송되기까지 소요되는 총 지연시간(T_D)은 버퍼에서 대기한 시간(T_Q), 채널접속 시간(T_A)

그리고 패킷전송시간(T_p)의 합으로 계산된다. 따라서 총 평균지연시간을 수식으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[T_D] = E[T_Q] + E[T_A] + E[T_p] \tag{6}$$

평균 버퍼링 시간 $E[T_Q]$는 잘 알려진 M/G/1 버퍼링 모델을 이용하여 구할 수 있으며 평균 채널접속 시간 $E[T_A]$는 현재 전송되고 있는 패킷의 남은시간(T_{Res})과 총 백오프 시간(T_B)을 고려하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E[T_A] = (1-\lambda E[T_S])P_o(E[T_B] + E[T_{Res}]) + \lambda E[T_S]E[T_B] \tag{7}$$

여기서 평균 백오프 시간과 평균 잔여시간에 대한 계산식은 다음과 같다.

$$E[T_B] = (\sigma + (1-p_{c2})T_p)(W-1)/2 \tag{8}$$

$$E[T_{Res}] = T_p/(1-e^{-\lambda T_p}) - 1/\lambda \tag{9}$$

식(8)에서 σ는 백오프 타임 슬롯의 길이를 의미한다. 그 외 세부적인 수식전개과정은 서두에서 언급한 참고문헌을 참조한다.

Ⅲ. 성능분석

이 장에서는 앞에서 전개된 수식과 군집주행 조건들을 활용하여 군집으로 주행하는 차량노드들에 대한 통신성능을 분석한다. 참고로 서술된 수식적 모델링은 참고한 논문들에서 시뮬레이션을 통한 상호 신뢰성이 검증되었다. 군집주행차량에 대한 각국의 단체표준에서 정의된 성능요구사항들을 살펴보면 <Table 1>과 같다.

〈Table 1〉 Requirements for platooning

Organization	PER	Delay	Description
TTA (TTA, 2016)	~0.01%	~10ms	~200km/h ~10vehicles ~1km coverage
3GPP (3GPP TR 22.886, 2016)	~10%	(set1) ~25ms (set2) ~10ms	~5vehicles (set1) ~40Hz period 300~400bytes (set2) ~100Hz period 50~1200bytes
METIS (METIS, 2013)	~0.001%	~5ms	5~10Hz period ~1600bytes

본 장에서는 <Table 1>에서 제시된 군집주행 통신 요구사항을 참고로 하여 주어진 고속도로 환경에서 패킷에러율(Packet Error Rate)과 평균지연시간을 분석한다. 본 장에서는 통신반경이 300미터인 근거리 통신환경에서 높은 신호 대 잡음비(Signal to Nose Ratio)를 갖는 경우를 가정하여 패킷의 에너지 감소로 인한 손실은 무시하며 단지 패킷간 충돌로 인한 손실(Packet Collision Rate)만을 패킷에러율의 주원인으로 고려한다. 따라서 본 장에서 분석하는 패킷충돌손실의 성능을 <Table 1>에서 제시된 패킷에러율 요구사항과 비교분석을 실시한다. 본 장에서는 시나리오를 다음과 같이 세 가지로 분류하고 각각의 시나리오에 따른 성능을 분석한다. 첫째 군집으로 주행하는 차량노드만 존재하는 경우, 둘째 히든차량노드 없이 다른 차량노드들이 함께 존재하는 경우, 마지막으로 히든차량노드들까지 포함한 모든 가능한 차량노드들이 함께 존재하는 경우 등이다. 본 장에서 사용된 파라미터는 다음과 같다.

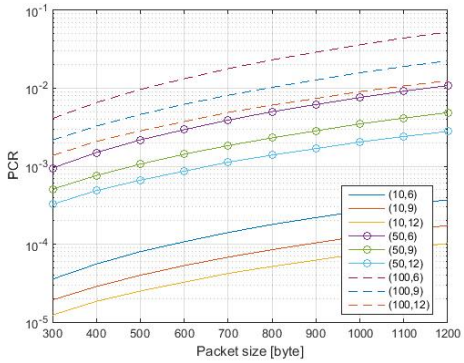
〈Table 2〉 DSRC system parameters

Parameter	Unit	Value	Description
W	-	16	window size
R_C	m	300	coverage
slot size	μs	16	time slot duration
DIFS	μs	58	DCF interframe space
T_{pre}	μs	32	PHY preamble
T_{hdr}	μs	8	PLCP header
N_p	-	5	Platooning vehicles
λ	Hz	10~100	Packet arrival rate
L_S	byte	300~1200	Packet size
v	km/h	100	vehicle speed

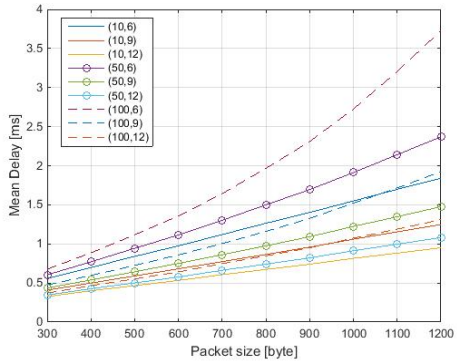
1. 군집주행차량만 존재하는 경우

군집으로 주행하는 5대의 차량(Np)들이 안전메시지를 주기적으로 방송하는 환경에서 패킷충돌율과 평균지연시간(mean delay)을 전송 데이터의 속도, 패킷의 크기 그리고 패킷의 전송 주기에 따라 비교분석을 실시하였다. 각 그림의 레전드(x, y)에서 x와 y는 각각 패킷의 전송주기(Hz)와 데이터 전송속도(Mbps)를 의미한다.

<Fig. 2>에서 얻어진 패킷충돌손실 결과를 보면 모든 조건에서 3GPP의 패킷에러율 10% 요구조건을 만족한다. 그러나 TTA의 패킷에러율 0.01%을 만족하는 경우는 10Hz의 패킷 전송주기에서 패킷의 크기가 작거나 12Mps의 경우만 해당됨을 알 수 있다. 패킷의 전송주기를 10Hz에서 50Hz로 증가함에 따라 패킷충돌손실의 성능이 급격히 감소되며 100Hz로 증가시 포화되는 경향을 보인다. <Fig. 3>에서의 경우 모든 실험 파라미터 범위에서 <Table 1>에서 제시된 모든 규격의 지연시간 요구조건을 만족함을 알 수 있다. 일반적으로 전송율이 증가할수록 높은 신호 대 잡음비를 요구함으로 동일 신호 대 잡음비 조건에서는 패킷전송 오류율이 증가한다. 그러나 패킷간 충돌율은 데이터 전송율이 증가할수록 패킷의 전송 소요시간이 단축됨으로 다른 차량들이 전송한 패킷과 충돌이 발생할 확률과 전송지연 시간은 오히려 감소하게 된다.



〈Fig. 2〉 Comparison of packet collision ratio for different data rates, packet sizes and packet arrival rates (N_P=5 only case)

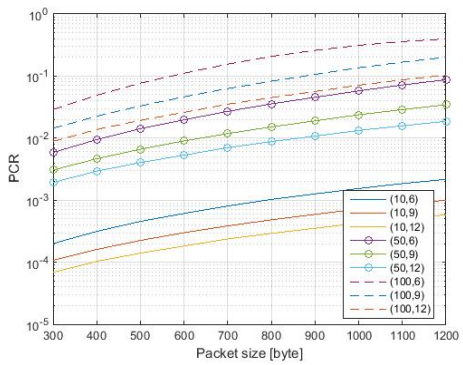


〈Fig. 3〉 Comparison of mean delay for different data rates, packet sizes and packet arrival rates (N_P=5 only case)

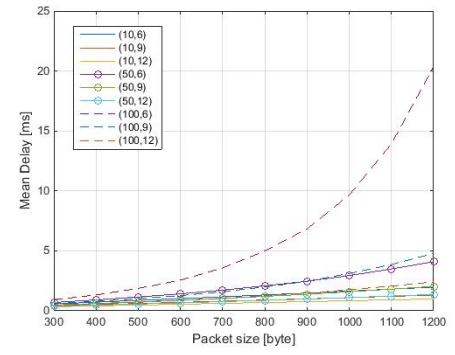
2. 통신범위에 다른 차량들이 공존하는 경우

시속 100km/h의 속도로 주행하는 경우 앞 절에서 유도된 수식에 따라 N_m의 차량대수는 6대가 된다. 따라서 통신반경 300m이내에 존재하는 차량의 대수는 N_P와 N_m의 합인 11대가 존재하는 조건에서의 성능을 분석하였다.

<Fig. 4>에 나타난 패킷충돌손실의 결과에서는 100Hz의 패킷주기에서는 패킷의 크기가 증가함에 따라 3GPP의 패킷에러율 10%을 만족하지 못하는 결과를 보이고 있다. 또한 10Hz 주기에서 12Mbps 전송속도에서 400바이트까지의 결과를 제외하고는 TTA의 0.01% 요구사항을 만족하기 어려운 결과를 보여준다. <Fig. 5>에 나타난 평균지연시간의 경우 100Hz 주기의 6Mbps 전송속도의 조건의 경우 일부구간은 패킷의 크기에 따라 지연시간이 최고 20ms까지 발생하여 지연시간 요구조건을 만족할 수 없는 경우가 발생함을 알 수 있다.



〈Fig. 4〉 Comparison of packet collision ratio for different data rates, packet sizes and packet arrival rates (N_P=5 and N_m=6 case)

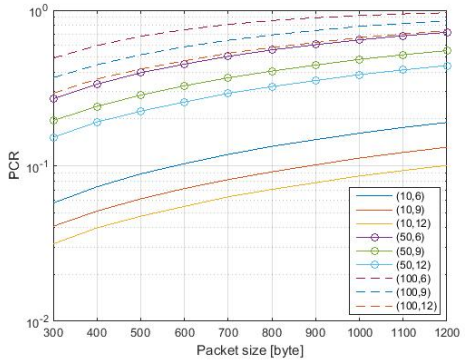


〈Fig. 5〉 Comparison of mean delay for different data rates, packet sizes and packet arrival rates (N_P=5 and N_m=6 case)

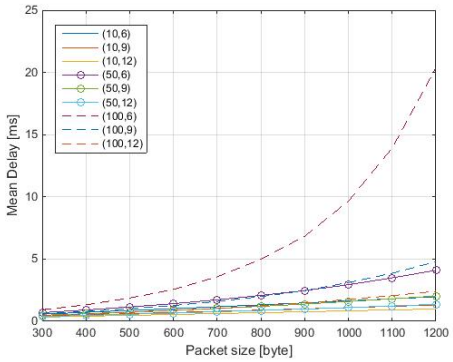
3. 히든 차량들이 공존하는 경우

군집으로 주행하는 차량들(N_P)과 그들의 통신반경에 존재하는 차량들(N_m) 그리고 통신범위 밖에 히든노드로 존재하는 차량들(N_h)이 모두 존재하는 환경에서의 성능결과를 분석하였다.

<Fig. 6>에서 패킷충돌손실의 성능이 히든노드 차량에 의해 매우 민감하게 열하되는 것을 알 수 있다. 패킷에러율 10% 성능을 10Hz 주기의 일부 조건에서만 만족하며 주기가 50Hz 이상으로 증가시 패킷충돌이 심각하게 증가함을 알 수 있다. 그러나 히든노드 차량을 감지할 수 없음으로 평균지연시간의 영향은 변동이 없음을 <Fig. 7>에서 알 수 있다.



〈Fig. 6〉 Comparison of packet collision ratio for different data rates, packet sizes and packet arrival rates (N_P=5, N_m and N_h=6 case)



〈Fig. 7〉 Comparison of mean delay for different data rates, packet sizes and packet arrival rates (N_P=5, N_m and N_h=6 case)

V. 결 론

다수의 차량노드들이 군집으로 주행하는 환경에서는 차량의 제어 관련된 정보가 무선으로 전송됨으로 패킷들이 혼잡한 통신환경에의 통신성능 분석이 요구된다. 본 논문에서는 시나리오1: 군집주행 차량노드들이 단독으로 존재하는 경우, 시나리오2: 군집주행 차량노드들의 통신반경에 다른 차량노드들이 존재하는 경우 그리고 시나리오3: 히든차량노드들이 존재하는 경우에 대해 패킷충돌율과 평균지연시간 등의 통신성능을 분석하였다. 실제 각국의 단체표준에서 제시한 패킷에러율과 평균지연시간 등의 요구사항을 근거로 세가지 시나리오에서 패킷의 크기와 주기 그리고 전송속도 등의 파라미터 값을 통하여 성능을 비교분석 하였다.

앞서 언급된 표준단체에서 요구하는 패킷에러율과 delay 성능에 대해 <Table 3>에 정리하였다. 3GPP에서 요구하는 패킷에러율은 시나리오1에서는 모든 조건에서, 시나리오2, 3의 경우는 3GPP-set1 조건에서 만 만족함을 알 수 있다. TTA에서 요구하는 패킷에러율 0.01%는 시나리오1에서 10Hz 주기와 작은 패킷 크기 등의 범위에서 만족하지만 시나리오2와 시나리오3에서는 요구조건을 만족할 수 없다. METIS의 요구조건인 패킷에러율 0.001%는 본 논문에서 제시된 시나리오 모두에서 만족하는 조건을 찾을 수 없다. 안전메시지의 경우 최소 10Hz주기를 요구하고 있음으로 10Hz 이하의 더 낮은 패킷 전송주기와 300바이트 보다 작은 패킷크기 조건에서 패킷에러율 0.001%을 만족할 수 있으나 실효성이 낮다.

반면 평균지연시간의 경우 시나리오1에서는 최댓값이 4ms로 모든 요구사항을 만족한다. 시나리오2와 시

나리오3에서는 3GPP-set1에서 제시한 평균지연시간 조건을 만족하지만 그 외 다른 규격에서는 (100Hz, 6Mbps) 조건에서 패킷의 크기에 따라 일부 평균지연시간의 성능이 요구조건을 만족하지 않는다.

〈Table 3〉 Results for the requirements

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
TTA	PER: OK (10Hz only) Delay: OK	PER: Not OK Delay: OK (except 100Hz)	PER: Not OK Delay: OK (except 100Hz)
3GPP	PER: OK Delay: OK	PER: OK (set1 only) Delay: OK (except 100Hz)	PER: OK (set1 only) Delay: OK (except 100Hz)
METIS	PER: Not OK Delay: OK	PER: Not OK Delay: OK (except 100Hz)	PER: Not OK Delay: OK (except 100Hz)

본 연구에서 살펴본 바와 같이 차량용 통신시스템은 고속도로 환경에서 군집주행 서비스를 지원하기 위한 각국의 단체표준에서 정의된 성능요구사항을 일부분 만족할 수 있으나 높은 방송주기나 500바이트 이상의 패킷을 안정적으로 전송하기 위해서는 패킷의 전송효율을 개선하고 간섭신호 회피를 위한 추가적인 연구개발이 요구된다. 또한 본 논문에서는 수 미터 이하의 매우 근접한 거리를 유지하며 군집으로 주행하는 차량들이 낮은 데이터 전송율(12Mbps 이하)로 통신할 경우 충분히 큰 신호 대 잡음비를 확보할 수 있음을 가정하여 채널로 인한 패킷 손실을 무시하고 확보한 패킷충돌손실 성능을 표준에서 제시하는 패킷에러율 값에 적용을 하였다. 그러나 군집주행에서 차량간 거리가 수십 미터로 증가 시 채널 손실을 무시할 만큼의 충분한 신호 대 잡음비를 확보하는 것이 어렵게 됨으로 이러한 경우 패킷 에러율은 패킷들간 충돌로 인한 손실과 채널로 인한 손실을 함께 고려한 분석이 향후 연구과제로 남아있다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진행센터의 정부출연금사업(201500275, 자율주행 자동차의 실시간 제어를 위한 고속 V-Link 통신기술 개발)의 지원으로 수행하였습니다.

본 논문은 2016년 한국ITS학회 추계학술대회에 게재되었던 논문을 수정·보완하여 작성하였습니다.

REFERENCES

3GPP TR 22.886(2016), Study on enhancement of 3GPP support for 5G V2X services (Release 15).

Bansal, Gaurav, John B. K, and Charles E. R.(2013), “LIMERIC: A linear adaptive message rate

algorithm for DSRC congestion control." *IEEE Transactions on Vehicular Technology,* vol. 62, no. 9, pp.4182-4197.

European Commission DG CONNECT http:// www.drive-c2x.eu/project, 2016.12.19.

Hassan, M. I., Vu Hai L. and Sakurai T.(2011), "Performance analysis of the IEEE 802.11 MAC protocol for DSRC safety applications," *Vehicular Technology*, IEEE Transactions on vol. 60, issue. 8, pp.3882-3896.

Huang, C. L., et al.(2010), "Adaptive intervehicle communication control for cooperative safety systems." *IEEE network,* vol. 24, issue.1, pp.6-13.

Marc T. M.(2009), "V2V Communication: Fair Transmit Power Control for Safety-Critical Information," *IEEE Transaction on Vehicular Technology,* vol. 58, no. 7, pp.3684-3703.

METIS(2013), Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system, pp.66-71.

Ministry of Land, Infrastructure and transport, http://www.molit.go.kr/USR/ NEWS/m_71/ dtl.jsp?id=95074325, 2016.12.19.

Moon Y. J.(2007), "Telematics/ITS service standard and implementation," *TTA Journal,* no. 113, pp.60-64.

Nguyen H. H., Adhiya B. and Jeong H. Y.(2012), "An analysis for the efficient dissemination of beacon messages in vehicle-to-vehicle communications," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences,* vol. 37, pp.483-491.

Pravin Shankar, et al.(2008), "CARS: context-aware rate selection for vehicular networks," IEEE international conference on Network Protocols.

Razvan S., et al.(2011), "Enhancements of IEEE802.11p protocol for access control on a VANET control channel," IEEE international conference on communications.

Rober S., et al.(2011), "Advanced carrier sensing toresolve local channel congestion," the 8th ACM international workshop on vehicular inter-networking(VANET).

SAE international J3016, Sep 2016.

TTA(2016), V2X communication requirement for cooperative autonomous driving.

U.S. Department of Transportation, http:// www.its.dot.gov/landing/cv.htm, 2016.12.19.