

C-V2X를 위한 지역 혼잡도 정보를 이용한 분산 혼잡 제어

Distributed Congestion Control Exploiting Local Congestion Information for Cellular Vehicle-to-Everything

정 구 선 · 정 창 규* · 문 철*

Gu-Sun Joung · Chang-Kyoo Jung* · Cheol Mun*

요 약

3GPP LTE C-V2X(cellular vehicle-to-everything) 모드 4에서 각 차량 단말은 SB-SPS(sensing-based semi-persistent scheduling) MAC(media access control) 알고리즘에 의해 분산적으로 사용 가능한 무선자원을 선택하고 메시지를 전송한다. 차량 단말 밀도가 증가할수록 패킷 충돌 발생 확률이 높아지고, 이로 인해 PDR(packet delivery ratio)과 IPG(inter-packet gap) 성능이 열화된다. 따라서 본 논문에서는 LDM(local dynamic map)의 동적 계층에 의해 추정된 차량 단말 혼잡도 정보를 이용하여, 각 차량 단말들이 해당 혼잡도에 따라 분산적으로 메시지의 전송주기(transmission time interval, TTI)를 조절하는 분산 혼잡 제어(distributed congestion control, DCC) 기술을 제안한다. MAC 계층 시뮬레이션을 통해 차량 단말 혼잡도에 따른 제안 기술의 최적 메시지 전송주기(TTI)를 도출하고, 제안 기술이 PDR과 IPG 측면에서 기존 CBR(channel busy ratio) 기반 분산 혼잡 제어(DCC) 기술보다 우수한 성능을 제공할 수 있음을 분석하였다.

Abstract

In a 3GPP LTE cellular vehicle-to-everything (C-V2X) communication network, each in-vehicle device independently selects and manages available radio resources using the sensing-based semi-persistent scheduling (SB-SPS) medium access control (MAC) algorithm. As the density of in-vehicle devices increases, packet collisions increase, which leads to performance deterioration in terms of packet delivery ratio (PDR) and inter-packet gap (IPG). This paper introduces a distributed congestion control (DCC) algorithm, in which each in-vehicle device independently determines the message transmission time interval (TTI) by considering the estimated density of in-vehicle devices from the local dynamic map (LDM). The optimal TTI is deduced using MAC simulation, and the proposed DCC is shown to outperform the previous channel busy ratio (CBR)-based DCC in terms of PDR and IPG.

Key words: C-V2X Mode 4, Distributed Congestion Control (DCC), Semi-Persistent Scheduling, Transmission Time Interval (TTI) Control

I. 서 론

V2X(vehicle-to-everything) 통신은 차세대 능동 교통안

전 및 관리 서비스를 위해 개발되었으며, 주변 차량 및 인
프라 또는 취약한 도로 사용자와의 통신을 통해 차량 단
말의 인지 범위를 확장할 수 있다. 이를 위해 각 차량 단

「이 연구는 국토교통부 국토교통기술진흥사업의 연구비 지원(20CTAP-C151968-02)과 2020년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음.」

한국교통대학교 교통에너지융합학과(Department of Transportation and Energy Convergence, Korea National University of Transportation)

*한국교통대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Korea National University of Transportation)

· Manuscript received November 17, 2020 ; Revised December 11, 2020 ; Accepted January 8, 2021. (ID No. 20201117-012S)

· Corresponding Author: Cheol Mun (e-mail: chmun@ut.ac.kr)

말은 운행상태정보가 포함된 BSM(basic safety message) 또는 CAM(cooperative awareness message)을 주기적으로 브로드캐스팅한다^[1].

3GPP는 V2X 통신을 지원하기 위해 Release 14에서 LTE 기반의 C-V2X(cellular V2X)를 표준화하였다^[2]. C-V2X는 PC5 인터페이스 또는 V2X 사이드링크 기반의 차량과 차량 간 V2V(vehicle-to-vehicle) 직접 통신을 지원한다. 특히, 모드 4에서 각 차량 단말은 셀룰러 인프라 지원 없이 독자적으로 무선자원을 선택하여 메시지를 전송하는 SB-SPS(sensing based semi-persistent scheduling) MAC(media access control) 알고리즘을 제안하였다. 그러나 메시지를 전송할 차량 단말의 밀도가 증가할 경우, 동일한 주파수와 시간 자원을 사용하여 패킷을 전송할 경우, 패킷 충돌이 발생하게 되는데, 이로 인해 심각한 패킷 손실을 유발하고 차량 안전서비스의 안정성에 중대한 영향을 미치게 된다.

안정적인 V2X 통신을 보장하기 위해 각 차량 단말이 무선 채널의 혼잡도를 추정하고, 혼잡도에 따라 패킷 전송주기(transmission time interval, TTI)와 전송전력 등을 조절하여 패킷 충돌을 완화하는 분산 혼잡 제어(distributed congestion control, DCC) 기술이 제안되고 있다^[3]. 특히, 3GPP LTE C-V2X 모드 4를 위한 분산 혼잡 제어(DCC) 기술로 각 차량 단말에서 CBR(channel busy ratio)을 측정하고, 이를 통해 채널 혼잡도, 즉 채널에 접속하여 메시지를 전송하려는 차량 단말의 수를 추정한 후에 전송주기(TTI)를 결정하는 CBR 기반 분산 혼잡 제어(DCC) 기술^[4]이 있다. 그러나 페이딩의 영향을 받는 RSSI(received signal strength indicator)를 이용하여 CBR을 추정하기 때문에, CBR을 기반으로 한 채널 혼잡도 추정은 부정확해진다. 따라서, PDR(packet delivery ratio)과 IPG(inter-packet gap) 측면에서 요구되는 성능을 달성하기 힘들다.

본 논문에서는 MEC(multi-access edge computing)에 의해 생성된 LDM(local dynamic map)의 동적 계층을 이용하여 차량 단말 혼잡도를 추정하고, 주변 차량 단말들에게 차량 단말 혼잡도 정보를 브로드캐스팅한다. 각 차량 단말들은 해당 혼잡도에 따라 독자적으로 메시지의 전송주기(TTI)를 조절하는 분산 혼잡 제어(DCC) 기술을 제안한다. MAC 계층 시뮬레이션을 통해 차량 단말 혼잡도에

따른 제안 기술의 최적 메시지 전송주기(TTI)를 도출하고, 제안 기술이 PDR과 IPG 측면에서 기존 CBR 기반 분산 혼잡 제어(DCC) 기술보다 우수한 성능을 제공함을 증명한다.

II. C-V2X Mode 4의 MAC

C-V2X 모드 4는 셀룰러 인프라의 지원 없이 작동할 수 있도록, 각 차량 단말은 SB-SPS를 통해 무선자원을 자율적으로 선택하도록 한다. SB-SPS는 빈번한 자원 선택 또는 재선택의 필요성을 피하고, 패킷 충돌을 줄이는 기술로 C-V2X에 도입되었다.

SB-SPS에서 사용하는 매개 변수는 다음과 같다. RSSI는 1개의 무선자원 또는 서브채널을 이루는 다수의 RB(resource block)에 대한 총 수신 전력을 의미하며, RSRP(reference signal received power)는 1개의 RE(resource element)에 대한 총 수신 전력을 의미한다. 여기서 총 수신 전력은 인접 채널 간섭, 열잡음 등 모든 간섭이 포함된 전력을 뜻한다. CSR(candidate single sub-frame resource)은 1 ms 서브프레임에 대한 후보 무선자원을 뜻하며, 셀렉션 윈도우(selection window) 내 모든 무선자원은 CSR이 된다.

차량 단말이 무선자원을 선택해야 할 경우, 지난 1,000 ms의 센싱 윈도우(sensing window) 내에 있는 무선자원들을 모니터링하고, 다음 그림 1과 같이 SB-SPS의 절차에 따라 새로운 무선자원을 재 선택하여 메시지를 전송한다.

그림 1은 SB-SPS 절차를 보여준다.

- ① 차량 단말은 설정된 전송주기(TTI)마다 동일한 서브프레임에서 메시지를 전송한다. 메시지를 전송할 때마다 RC(reselection counter)에서 1씩 감소시킨다.
- ② 차량 단말은 지속적으로 서브프레임을 모니터링하고, RSSI 및 RSRP를 측정한다. RC는 0일 때, 차량 단말은 새로운 무선자원을 재 선택해야 한다. 이를 위해 지난 1,000 ms의 센싱 윈도우 내의 모든 무선자원들을 고려한다.
- ③ 차량 단말의 신호전력 임계값을 설정하고, 셀렉션 윈도우 내 모든 CSR을 L1으로 설정하며, L2는 빈 공간으로 설정한다. RC가 0이 되는 서브프레임 T부터 전송주기(TTI)만큼 셀렉션 윈도우가 되며, 그

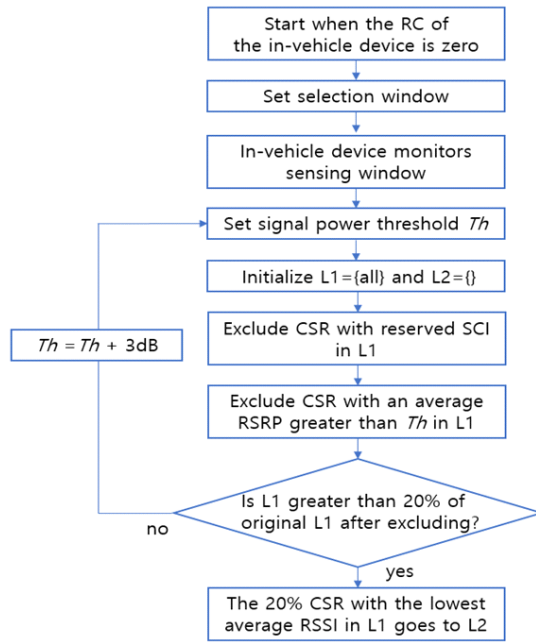


그림 1. Semi-persistent scheduling 절차
Fig. 1. Semi-persistent scheduling procedure.

안에 있는 무선자원은 모두 CSR이 된다.

- ④ L1 내 CSR 중에서 예약된 CSR이거나, 평균 RSRP 측정값이 임계값보다 높은 CSR은 제외된다.
- ⑤ L1 내 남은 CSR이 처음 설정된 L1 내 CSR의 20 % 미만이면 임계값을 3 dB 증가하고, 제외과정을 반복한다.
- ⑥ 20 % 이상을 만족한다면 제외되고, 남은 L1 내에서 평균 RSSI가 가장 작은 CSR의 20 %는 L2로 이동된다.
- ⑦ 차량 단말은 첫 번째 전송을 위해 L2의 무선자원 중 하나를 임의로 선택하여 메시지를 전송한다.
- ⑧ 차량 단말에 RC를 5~15 사이 값 중에 하나를 임의로 선택한다.

Ⅲ. 제안하는 분산 혼잡 제어

분산 혼잡 제어(DCC)의 주요 목적은 C-V2X 무선 네트워크에서 높은 부하에 의해 지속적으로 발생하는 패킷 충돌에 의한 과도한 패킷 손실을 완화하는 것이다. 이를 위해 차량 단말의 전송전력을 줄여 통신 범위를 제한하거나, 메시지 전송주기(TTI)를 늘려 네트워크 부하를 감

소시킴으로써 패킷 충돌을 완화할 수 있다^[5].

본 장에서는 네트워크 부하에 따라 메시지 전송주기(TTI)를 조절하는 기존 CBR 기반 분산 혼잡 제어(DCC) 기술을 소개하고, LDM의 차량 단말 혼잡도 정보를 이용하여 메시지 전송주기(TTI)를 조절하는 새로운 분산 혼잡 제어(DCC) 기술을 제안한다.

3-1 기존 CBR 기반 분산 혼잡 제어[4]

CBR 기반 분산 혼잡 제어(DCC) 기술은 각 차량 단말에서 채널 혼잡도를 나타내는 CBR를 측정하고, 이에 따라 각 차량 단말의 채널 점유 비율(channel occupancy ratio, CR)의 최대값인 CR_{limit} 을 결정한다. 그리고 CR_{limit} 에 맞추어 각 차량 단말의 메시지 전송주기(TTI)를 제어한다^[4]. 측정된 CBR과 그에 따른 CR_{limit} 과 메시지 전송주기(TTI) 관계는 표 1과 같다.

CBR은 지난 1,000 ms 동안 측정된 RSSI가 미리 정해진 임계값을 초과하는 서브채널의 비율로 정의된다. 또한 CR은 현재 서브프레임을 기준으로 과거 전송에 사용된 서브채널 수와 앞으로 사용될 서브채널 수의 합을 구간 내 총 서브채널 수로 나눈 값으로 정의된다. 과거 전송에 사용된 서브채널 수와 앞으로 사용될 서브채널 수의 합 및 구간 내 총 서브채널 수는 1,000 ms를 기준으로 측정된다^[3].

표 1. CBR에 따른 전송주기(TTI)
Table 1. TTI as a function of CBR.

CBR measured	CR_{limit}	TTI
$CBR \leq 0.650$	no limit	100 ms
$0.650 < CBR \leq 0.675$	$1.6e-3$	334 ms
$0.675 < CBR \leq 0.700$	$1.5e-3$	334 ms
$0.700 < CBR \leq 0.725$	$1.4e-3$	500 ms
$0.725 < CBR \leq 0.750$	$1.3e-3$	500 ms
$0.750 < CBR \leq 0.800$	$1.2e-3$	500 ms
$0.800 < CBR \leq 0.825$	$1.1e-3$	500 ms
$0.825 < CBR \leq 0.850$	$1.0e-3$	500 ms
$0.850 < CBR \leq 0.875$	$0.9e-3$	1,000 ms
$0.875 < CBR$	$0.8e-3$	1,000 ms

3-2 제안하는 LDM 기반 분산 혼잡 제어

LDM은 C-ITS 기술 개발을 위해 ITS 지국 간에 교환되는 방대한 양의 데이터를 신속하고 정확하게 처리하기 위해 유럽에서 제안된 기술로써, 국제표준화기구(ISO)와 유럽전기통신표준협회(ETSI) 등에서 개념 표준이 제정된 상태이다. LDM 표준에서는 주변 차량, 보행자, 도로시설물, 이벤트 등의 차량 주행 환경을 LDM 객체로 정의하며, 정확도 높은 시공간 정보를 갖도록 요구한다^[6].

그림 2는 LDM의 개념을 보여준다. LDM의 각 계층 정보는 월 단위로 변화 또는 업데이트 되는 정적 계층, 시간 단위로 변화 또는 업데이트되는 준정적 계층, 분 단위 변화 또는 업데이트되는 준동적 계층 및 초 단위로 변화하고 업데이트되는 동적 계층을 포함하고 있다. 특히 동적 계층에는 서비스 영역 내에서 이동하는 차량 및 보행자 등의 위치 및 이동방향, 속도 등의 이동 궤적 정보가 포함된다. 이를 위해 차량이 자차의 이동상태정보를 포함하는 PVD(probe vehicle data) 메시지를 주기적으로 V2X 노변 지국 RSU(road side unit)에 전송하고, MEC에서 이를 이용하여 LDM의 동적 계층에 차량 및 보행자 등의 위치와 이동방향 및 속도 등의 정보를 포함시킨다.

그림 3은 제안하는 LDM 기반 분산 혼잡 제어(DCC) 기술의 개념을 보여준다. MEC에서 LDM의 동적 계층 정보를 이용하면 RSU 반경 1 km 이내의 V2X 통신 채널 별 차량 단말의 밀도를 추정할 수 있으며, RSU가 기존 RSA(road side alert) 메시지에 V2X 통신 채널 별 차량 단말의 밀도에 기반한 한 채널 혼잡 정보를 포함하여 주변 차량

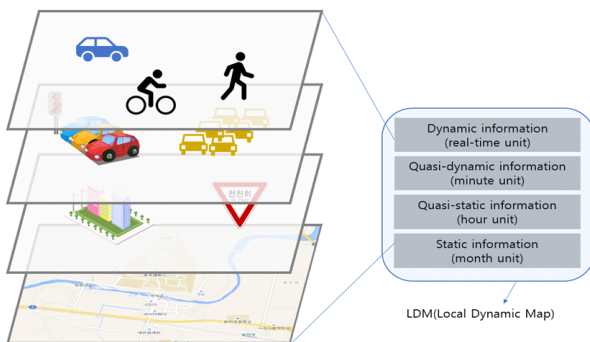


그림 2. LDM 개념
Fig. 2. LDM concept.

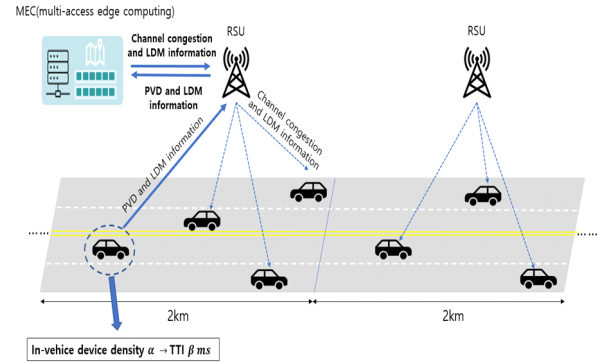


그림 3. LDM 기반 분산 혼잡 제어(DCC) 개념
Fig. 3. Concept of LDM-based DCC.

단말들에게 주기적으로 브로드캐스팅할 수 있다. 각 차량 단말들은 수신된 RSA 메시지의 채널 혼잡 정보를 통해 주변 차량 단말의 밀도를 추정하고, 이를 통해 독자적으로 메시지의 전송주기(TTI)를 조절할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 IV 절에서 물리계층과 MAC 계층 통합 시뮬레이션을 통해 차량 단말 밀도에 따른 기존 기술의 평균 전송주기(TTI)와 제안하는 기술의 최적 전송주기(TTI)를 표 2와 같이 도출한다. 표 2는 차량 단말 밀도에 따라, 기존 CBR 기반 분산 혼잡 제어(DCC) 기술의 평균 전송주기(TTI)는 표 1의 CBR에 따른 전송주기(TTI)에 대응하며, 제안하는 기술의 최적 전송주기(TTI)는 기존 기술과 비교하여 최적의 전송주기(TTI)를 나타낸다.

CBR 기반 분산 혼잡 제어(DCC) 기술에서 CBR은 무선 채널의 주파수와 시간 선택적 페이딩의 영향을 받는 RSSI를 이용하여 추정되기 때문에, CBR을 이용하여 경쟁하는 차량 단말의 수를 정확하게 추정하는 것은 힘들다. 반면에, 제안하는 기술에서 LDM의 동적 계층은 각

표 2. 차량 단말 밀도에 따른 전송주기(TTI)
Table 2. TTI as a function of in-vehicle device density.

In-vehicle device density within 2 km	CBR DCC TTI	LDM DCC optimal TTI
200 veh	100 ms	100 ms
400 veh	334 ms	200 ms
600 veh	500 ms	200 ms
800 veh	1,000 ms	200 ms
1,000 veh	1,000 ms	200 ms

차량 단말에서 측정된 위치 및 이동상태정보에 기반하여 100 ms 단위로 업데이트되기 때문에, 이를 기반으로 각 차량 단말이 접속하려는 V2X 통신 채널과 위치 정보를 이용하여 V2X 통신 채널 별로 경쟁하는 차량 단말의 수를 정확하게 추정할 수 있다. 따라서, 이에 기반하여 전송 주기(TTI)를 결정할 경우, CBR 기반 전송주기(TTI)를 결정하는 기술보다 우수한 성능을 제공할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 성능 분석

시뮬레이션은 LTEV2Vsim^[7]을 기반으로 수행되었다. LTEV2Vsim은 LTE C-V2X 네트워크의 물리계층과 MAC 계층을 통합하여 MAC 계층의 자원 할당 성능을 분석하기 위해 설계되었으며, MATLAB으로 작성된 동적 시뮬레이터이다. 전송주기(TTI), 전송전력, 송수신기 이득, 물리계층의 MCS(modulation and coding scheme), 그리고 차량 트래픽 환경 및 밀도를 주요 입력 매개 변수로 설정할 수 있다. 주요 출력으로는 패킷 전송률, 무선 자원 재할당률, 그리고 패킷 간 시간을 계산할 수 있다. 고속도로 환경에서 다양한 밀도의 차량 단말 분포를 발생시키기 위해서 1차원 포아송 포인트 프로세스를 사용하였다^[8].

시뮬레이션 환경은 길이는 2 km의 총 8차선의 직선 고속도로이며, 이동하는 차량 속도는 평균 60 km/h에 표준편차 2.65 km/h로 구성된다. 차량 밀도는 200대(1 km 한 차선 당 13대), 400대(1 km 한 차선 당 25대), 600대(1 km 한 차선 당 38대), 800대(1km 한 차선 당 50대), 1,000대(1 km 한 차선 당 63대)를 가정한다.

표 3은 시뮬레이션에서 사용된 주요한 파라미터를 보여준다. 3GPP LTE C-V2X는 5.9 GHz ITS 주파수 대역에서 운용된다^[9]. 시뮬레이션에서 10 MHz 채널을 사용하며, 경로 손실은 3GPP에서 제안한 WINNER II의 시나리오 B1을 사용하여 모델링하였다. 여기서 3 dB 분산과 25 m의 decorrelation distance를 가지는 shadowing을 가정한다.

기존 CBR 기반 분산 혼잡 제어(DCC) 기술과 제안하는 LDM 기반 분산 혼잡 제어(DCC) 기술의 성능을 PDR과 IPG 관점에서 비교 분석하였다. PDR은 주어진 통신 거리에서 모든 차량 단말 사이에 전송한 메시지 중에서 오류 없이 전송된 메시지의 비율이다. IPG는 동일한 송신 차량

표 3. 시뮬레이션 주요 변수

Table 3. Simulation parameters.

Simulation time	20 s
Channel bandwidth	10 MHz
Message size	300 bytes
TTI(LDM DCC)	100, 200, 300, 400 ms
TTI(CBR DCC)	100 ms~1,000 ms
Transmission power	23 dBm
SB-SPS signal power threshold	-94 dBm
Channel model	WINNER II, Scenario B1
MCS index	6 (=QPSK, 1/2)
Noise figure	9 dB
Antenna gain(Tx, Rx)	3 dB

단말과 수신 차량 단말 사이에서 연속적으로 오류 없이 수신된 2개의 메시지 사이 시간 간격이다^[10].

그림 4와 그림 5는 각각 차량 단말 밀도가 200대와 1,000대일 경우, 제안하는 LDM 기반 분산 혼잡 제어(DCC) 기술과 CBR 기반 분산 혼잡 제어(DCC) 기술의 PDR과 IPG 성능 결과를 비교하여 보여준다. PDR 성능 그래프는 차량 단말 송수신기 거리에 따른 PDR을 보여주며, IPG CCDF(complementary cumulative distribution function) 성능 그래프는 주어진 통신거리, 즉 100 m 이내의 송수신기 사이에서 오류 없이 패킷을 성공적으로 보낸 시간 간격을 나타낸다.

그림 4와 같이 200대의 PDR 성능 그래프는 LDM DCC(100 ms)와 LDM DCC(200, 300, 400 ms) 사이에 최대 15%의 PDR 성능 차이를 나타내며, 그림 5와 같이 1,000대의 PDR 성능 그래프는 LDM DCC(100 ms)와 LDM DCC(200, 300, 400 ms) 사이에 최대 45%의 PDR 성능 차이를 나타낸다. MCS가 6일 경우, 1 ms 당 2개의 서브채널을 통해 2개의 패킷을 전송할 수 있다. 따라서, TTI를 100, 200, 300, 400 ms로 증가함에 따라 사용 가능한 서브채널의 개수는 200, 400, 600, 800개로 증가하게 된다. 따라서, 동일한 차량 단말 밀도에서 전송주기(TTI)가 증가함에 따라, 차량 단말들이 동일한 무선자원을 사용해서 패킷이 충돌할 확률이 줄어들고 패킷 손실이 적어진다.

다시 그림 4와 그림 5의 PDR 성능 그래프를 보면, 그

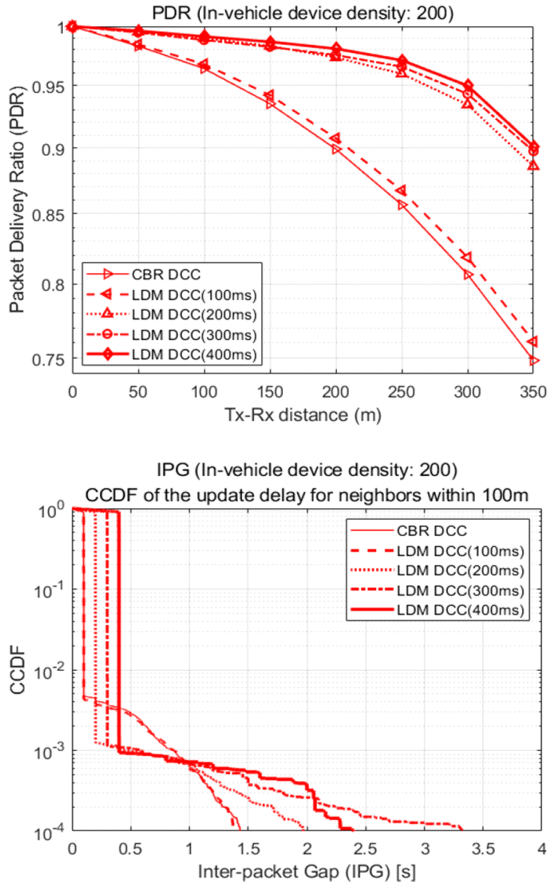


그림 4. 차량 단말 밀도 200대 환경에서 PDR과 IPG 성능
Fig. 4. PDR and IPG performance(in-vehicle device density: 200).

그림 4의 LDM DCC(100 ms)에서 무선자원의 개수와 차량 단말 밀도는 같기 때문에 패킷이 충돌할 확률이 상대적으로 크며, PDR 성능이 상대적으로 낮다. 반면에 LDM DCC(200, 300, 400 ms)에서 무선자원의 개수는 차량 단말 밀도보다 크기 때문에 패킷이 충돌할 확률이 적으며, LDM DCC(200, 300, 400 ms) 사이에 PDR 성능 차이가 미세하다. 그림 5의 LDM DCC(100, 200, 300, 400 ms)에서 무선자원의 개수는 차량 단말 밀도보다 작기 때문에 패킷이 충돌할 확률이 존재한다. LDM DCC(100 ms)에서는 패킷 손실에 특히 더 치명적이며, LDM DCC(200, 300, 400 ms)에서 패킷 충돌은 점차 줄어들지만, 여전히 발생하기 때문에 서로 PDR 성능 차이가 난다.

그림 4에서 CBR DCC는 평균 전송주기(TTI)가 100 ms 이므로 LDM DCC(100 ms)와 PDR 성능이 유사하다. 그림

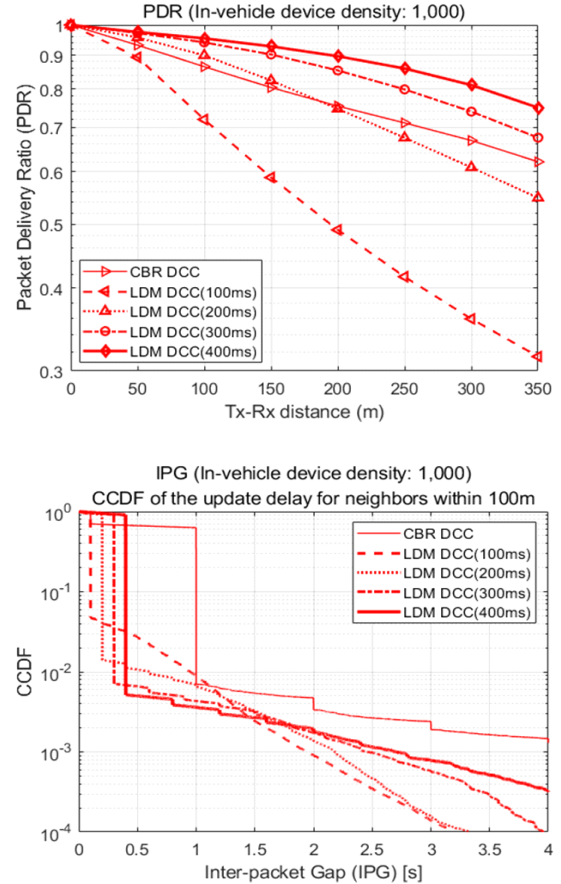


그림 5. 차량 단말 밀도 1,000대 환경에서 PDR과 IPG 성능
Fig. 5. PDR and IPG performance(in-vehicle device density:1,000).

5에서 CBR DCC는 평균 전송주기(TTI)가 1,000 ms이지만, LDM DCC(300 ms)보다 PDR 성능이 떨어지며, LDM DCC(200 ms)보다 짧은 송수신기 거리에서 PDR 성능이 떨어짐을 확인할 수 있다. 이를 통해 동일한 차량 단말 밀도에서 전송주기(TTI)가 증가함에 따라 패킷이 충돌할 확률이 줄어들지만, 너무 높은 전송주기(TTI)는 패킷 손실과 같은 성능 열화를 가져옴을 확인할 수 있다.

그림 4와 그림 5의 IPG CCDF 성능 그래프를 보면, 아래 부분에서 서로 교차됨을 확인할 수 있다. 자세히 보면, 그림 4는 대체적으로 CCDF가 10^{-2} , 즉 시뮬레이션 시간동안 전체 전송 지연 분포의 99 %는 전송주기(TTI)와 동일한 전송 지연을 가진다. 서로 교차하는 부분인 1 % 미만의 높은 전송 지연 분포는 포용할 수 있는 부분이다. 그림 5 또한 교차하는 부분에 대해 동일하게 설명이 가능하다.

그림 4와 그림 5를 정리해 보면, 저밀도 환경(차량 단말 밀도 200대)에서는 CBR 기반 DCC와 100 ms 전송주기(TTI)를 가지는 LDM 기반 DCC의 PDR 성능이 비슷함을 알 수 있다. 반면에 고밀도 환경(차량 단말 밀도 1,000대)에서는 PDR 90 %를 만족시킬 수 있는 송신기와 수신기 간의 거리가 CBR 기반 DCC는 73 m이며, 200 ms 전송주기(TTI)를 가지는 LDM 기반 DCC는 100 m로 증가한다. 이 때, 90 %의 IPG는 CBR 기반 DCC가 1,000 ms이며, 200 ms 전송주기(TTI)를 가지는 LDM 기반 DCC는 200 ms로 획기적으로 감소한다. 따라서, 고밀도 환경에서 제안하는 LDM 기반 DCC가 IPG를 감소시키면서, 동시에 PDR 성능을 개선함을 확인할 수 있다.

표 4는 다양한 차량 단말 밀도 환경에서의 성능 분석을 위해 CBR 기반 DCC와 LDM 기반 DCC에서 100, 200, 300, 400 ms를 사용할 경우, PDR과 IPG 성능을 비교 분석하였다. PDR 기준을 90 %와 95 %로 한 이유는 C-ITS의 기본 도로안전 서비스에 대해 C-V2X의 신뢰성 기준이 90%이기 때문이다^[11]. CBR 기반 DCC와 비교해 IPG, 즉

표 4. 최적 전송주기의 LDM DCC와 CBR DCC의 성능 비교
Table 4. Performance comparison of LDM DCC with optimal TTI and CBR DCC.

		PDR=0.9	PDR=0.95	IPG=0.9	IPG=0.95
200 veh	CBR DCC	200 m	124 m	100 ms	100 ms
	LDM DCC (100 ms)	+10 m*	+11 m*	+0 ms*	+0 ms*
400 veh	CBR DCC	141 m	64 m	335 ms	516 ms
	LDM DCC (200 ms)	+102 m*	+92 m*	-135 ms*	-316 ms*
600 veh	CBR DCC	167 m	83 m	500 ms	500 ms
	LDM DCC (200 ms)	-2 m*	+17 m*	-300 ms*	-300 ms*
800 veh	CBR DCC	94 m	48 m	1,000 ms	1,000 ms
	LDM DCC (200 ms)	+35 m*	+27 m*	-800 ms*	-800 ms*
1,000 veh	CBR DCC	73 m	37 m	1,000 ms	1,000 ms
	LDM DCC (200 ms)	+27 m*	+19 m*	-800 ms*	-800 ms*

* is the amount of increase or decrease compared to CBR DCC.

전송 지연을 최소화하면서, 동시에 PDR 이득을 보장하는 전송주기(TTI)를 LDM 기반 DCC의 최적 전송주기(TTI)로 선택하였다. 표 4는 차량 단말 밀도에 따른 CBR 기반 DCC와 최적의 전송주기(TTI)를 가지는 LDM 기반 DCC의 PDR과 IPG 성능을 나타낸다. 제안하는 LDM 기반 DCC는 차량 단말 밀도가 증가하더라도 200 ms의 IPG를 보장하면서, CBR 기반 DCC에 비해 동일 PDR을 보장하는 송수신기간 거리를 증가시킴을 확인할 수 있다. 반면에 CBR 기반 DCC는 차량 단말 밀도가 증가할 경우, IPG가 급격히 증가함과 동시에 PDR에서 성능이 열화됨을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 LDM의 동적 계층에 의해 추정된 차량 단말 혼잡도 정보를 이용하여, 각 차량 단말들이 해당 혼잡도에 따라 분산적으로 메시지의 전송주기(TTI)를 조절하는 분산 혼잡 제어(DCC) 기술을 제안하였다. 그리고 물리계층과 MAC 계층 통합 시뮬레이션을 통해, 차량 단말 혼잡도에 따른 제안 기술의 최적 메시지 전송주기(TTI)를 도출하고, 제안 기술이 기존 CBR 기반 분산 혼잡 제어(DCC) 기술 대비 동일 PDR에서 전송 거리를 최대 102 m 증가시키고, 동일 IPG에서 패킷 간 시간 간격, 즉 전송 지연을 최대 800 ms를 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

IPG, 즉 전송 지연은 차량 간 충돌 회피와 같은 안전 서비스의 성공 여부를 결정짓는 매우 중요한 성능 척도이다. 따라서, 차량이 혼잡한 교통상황에서도 적은 IPG를 보장하는 것이 매우 중요하며, 제안하는 LDM 기반 분산 혼잡 제어(DCC) 기술은 기존 CBR 기반 분산 혼잡 제어(DCC) 기술보다 다양한 혼잡상황에서도 적은 IPG를 보장함으로써 안전 서비스에 적합함을 보여준다.

마지막으로, LDM은 자율주행 차량의 인지 범위를 확장시켜 안전한 자율주행이 수행되도록 하는데 있어서 필수 정보이다^[6]. 따라서, 본 논문은 자율주행을 위해 사용되는 LDM의 활용 범위를 자율주행의 인지 성능 개선과 더불어 V2X 통신의 성능 개선에 활용하였다. 특히, 차량 단말 밀도는 TTI에 비해 천천히 변하므로 수십 초 단위의 저속으로 업데이트 되는 LDM도 활용이 가능하다.

References

- [1] R. Molina-Masegosa, J. Gozalvez, and M. Sepulcre, "Comparison of IEEE 802.11p and LTE-V2X: An evaluation with periodic and aperiodic messages of constant and variable size," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 121526-121548, Jul. 2020.
- [2] 3GPP, "TS 36.300 Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network(E-UTRAN); Overall description; Stage 2(v14.8.0, Release 14)," 3GPP, 2018.
- [3] A. Mansouri, V. Martinez, and J. Härri, "A first investigation of congestion control for LTE-V2X mode 4," in *2019 15th Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services(WONS)*, Wengen, Jan. 2019, pp. 56-63.
- [4] Qualcomm, "Congestion control for V2V," 3GPP TSG RAN1-87, Nov. 2016. Available: http://www.3gpp.org/ftp/TSG_RAN/WG1_RL1/TSGR1_87/Docs/R1-1611594.zip
- [5] B. Toghi, M. Saofuddin, Y. P. Fallah, and M. O. Mughal, "Analysis of distributed congestion control in cellular vehicle-to-everything networks," in *2019 IEEE 90th Vehicular Technology Conference(VTC-Fall)*, Honolulu, HI, Sep. 2019, pp. 1-7.
- [6] I. Yang, W. H. Jeon, and H. M. Lee, "A study on dynamic map data provision system for automated vehicle," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 16, no. 6, pp. 208-218, 2017.
- [7] LTEV2Vsim, "alessandrobazzi/LTEV2Vsim," 2020. Available: <http://github.com/alessandrobazzi/LTEV2Vsim>
- [8] G. Cecchini, A. Bazzi, B. M. Masini, and A. Zanella, "LTEV2Vsim: An LTE-V2V simulator for the investigation of resource allocation for cooperative awareness," in *2017 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS)*, Naples, Jun. 2017, pp. 80-85.
- [9] ETSI, "ETSI TS 103 613: Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for intelligent transport systems using LTE vehicle to everything communication in 5,9 GHz frequency band," 2018.
- [10] A. Bazzi, "Congestion control mechanisms in IEEE 802.11p and sidelink C-V2X," in *2019 53rd Asilomar Conference on Signals, Systems, and Computers*, Pacific Grove, CA, Nov. 2019, pp. 1125-1130.
- [11] S. Chen, J. Hu, Y. Shi, L. Zhao, and W. Li, "A vision of C-V2X: Technologies, field testing and challenges with chinese development," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 5, pp. 3872-3881, May. 2020.

정 구 선 [한국교통대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0002-4855-2985>



2019년 2월: 한국교통대학교 정보통신공학과 (공학사)
2019년 3월~현재: 한국교통대학교 교통에너지융합학과 석사과정
[주 관심분야] V2X 통신, 협력자율주행 등

정 창 규 [한국교통대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-1752-0331>



1988년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1990년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1995년 8월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
1995년 9월~현재: 한국교통대학교 전자공학과 교수
[주 관심분야] 이동통신시스템, 차량통신 등

문 철 [한국교통대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-2358-8375>



1995년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)

1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)

2001년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)

2003년 8월 ~ 현재: 한국교통대학교 전자

공학과 교수

[주 관심분야] 이동통신, V2X 통신, 협력자율주행 등