

도심 환경에서 5G NR V2X의 LDM 기반 분산혼잡제어 성능 분석

지성호*, 정구선*, 문철°

Performance Analysis of LDM-Based Distributed Congestion Control of 5G NR V2X in Urban Environments

Seoung-ho Ji*, Gu-sun Jung*, Cheol Mun°

요약

본 논문은 3GPP LTE C-V2X(Cellular-Vehicular to Everything)의 사이드링크에서 채널 혼잡에 의해 발생하는 성능 열화를 극복하기 위해 제안했던 LDM(Local Dynamic Map) 기반 분산혼잡제어를, 5G NR(New Radio) V2X의 사이드링크에 최적화하고 이의 성능을 분석하였다. 특히, 혼잡도가 불균일한 도심 환경에서 분산혼잡제어의 성능을 비교 분석하였다.

Key Words : 5G NR-V2X, Urban Grid, LDM

ABSTRACT

This paper adapted LDM-based distributed congestion control, which was proposed to overcome performance degradation due to sidelink channel congestion in 3GPP LTE C-V2X(Cellular-Vehicular to Everything), to 5G NR V2X sidelink transmission. Particularly, the performance was analyzed in urban environments that shows nonuniform channel congestion characteristics.

I. 서론

3GPP는 Release 16에서 5G NR(New Radio) 기반의 V2X(Vehicular to Everything) 통신을 표준화하였다. 5G NR V2X의 mode 2에서 각 VUE (Vehicular User Equipment)는 사이드링크(sidelink)를 통해 셀룰러 인프라 지원 없이 독자적으로 무선자원을 예약하여 메시지를 전송한다. 따라서, 사이드링크에서 경쟁하는 VUE가 증가할수록 패킷 충돌 가능성이 높아지게 되므로, 3GPP는 5G NR V2X의 분산혼잡제어(Distributed Congestion Control, DCC)를 표준화하였다^[1]. 또한, 커넥티드 차량의 인지 범위 확장을 위해 차량에게 배포되는 LDM(Local Dynamic Map)의 동적 계층 정보를 이용하여, 각 VUE가 채널 혼잡도를 추정하고 이에 따른 전송 주기를 적응적으로 제어하는 LTE C-V2X 기반의 분산혼잡제어가 제안되었다^[2].

본 논문은 3GPP LTE C-V2X를 위해 제안되었던 LDM 기반 분산혼잡제어를, 5G NR V2X의 사이드링크에 최적화하여 적용하고 이의 성능을 분석하였다. 기존에는 분산혼잡제어에 대한 성능 분석이 주로 혼잡도가 균일한 고속도로 환경에서 수행되었지만, 본 논문에서는 교차로 근처의 혼잡도가 증가하는 혼잡도가 불균일한 도심환경에서 분산혼잡제어의 성능을 비교 분석하였다.

II. 5G NR V2X를 위한 분산혼잡제어

3GPP에서 표준화된 5G NR V2X의 분산혼잡제어 알고리즘을 살펴보고, LTE C-V2X을 위해 제안했던 LDM 기반 분산혼잡제어를 5G NR V2X의 사이드링크에 최적 적용한 알고리즘을 살펴본다.

2.1 3GPP의 분산혼잡제어

3GPP에서는 5G NR V2X의 사이드링크에서 분산혼잡제어를 위해 RSSI(Received Signal Strength Indication)를 이용하여 채널 혼잡도를 나타내는 CBR(Channel Busy Ratio)을 추정하고, CBR에 따라 각 VUE의 채널 점유율 CR(Channel occupancy

※ 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다(No. 22AMDP-C160501-02).

• First Author : (OCRCID:0000-0003-0212-1351) Department of Transportation Energy Convergence, Korea National University of Transportation, 1626043@ut.ac.kr, 학생(석사과정), 학생회원

° Corresponding Author : (OCRCID:0000-0002-2358-8375) Department of Electronic Engineering, Korea National University of Transportation, chmun@ut.ac.kr, 정교수, 정회원

* (OCRCID:0000-0002-4855-2985) Department of Electrical and Electronic Engineering, Korea University, rmtjs300@korea.ac.kr, 학생(박사과정), 학생회원

논문번호 : 202210-258-A-LU, Received October 26, 2022; Revised November 8, 2022; Accepted November 8, 2022

표 1. 3GPP 5G NR V2X의 CBR 기반 분산혼잡제어
Table 1. CBR-based Distributed Congestion Control in 3GPP 5G NR V2X

CBR	CR Limit		
	Priority 1-2	Priority 3-5	Priority 6-8
$0 \leq CBR \leq 0.3$	no limit	no limit	no limit
$0.3 < CBR \leq 0.65$	no limit	0.03	0.02
$0.65 < CBR \leq 0.8$	0.02	0.006	0.004
$0.8 < CBR \leq 1$	0.002	0.003	0.002

Ratio) 최대 한계를 다음 표 1과 같이 지정한다¹¹. 여기서, 메시지의 우선 순위별로 각 VUE는 추정된 CBR에 따라 정해진 채널 점유율의 한계 내에서 채널을 사용하여 메시지를 전송한다.

2.2 LDM 기반 분산혼잡제어

커넥티드 차량의 인지 범위 확장을 위해 차량에게 배포되는 LDM의 동적 계층 정보를 이용하여, 각 VUE가 채널 혼잡도를 정확히 추정하고 이에 따른 전송 주기를 적응적으로 제어하는 LTE C-V2X 기반의 분산혼잡제어 알고리즘을 제안하였다². 그림 1은 LDM 기반의 분산혼잡제어 시스템 모델을 보여준다. LDM은 4개의 계층에 계층별로 서로 다른 업데이트 주기를 갖는 정보를 저장한다. 특히, 100ms 주기로 업데이트되는 레이어 4의 동적 계층은 노변 통신 장치 (Road Side Unit, RSU)에서 각 VUE로부터 수신한 CAM(Cooperative Awareness Messages)에 의해 식별된 차량들의 위치, 방향, 속도 정보 등을 포함한다³. RSU는 LDM 레이어 4 정보를 SDSM(Sensor Data Sharing Message)¹⁴로 생성하고 VUE들에게 배포한다. 따라서, 각 VUE는 SDSM 메시지를 수신하고 주변 커넥티드 차량들의 위치 및 이동상태를 정확히 추정할 수 있다.

i 번째 VUE는 t 번째 서브 프레임에서, 수신된 SDSM 메시지에 포함된 커넥티드 차량들의 위치와

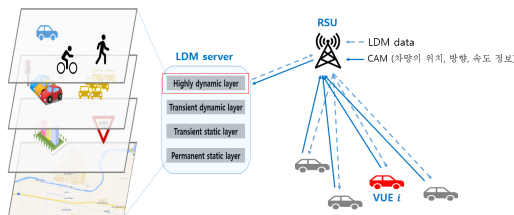


그림 1. LDM 기반 분산혼잡제어 시스템 모델
Fig. 1. LDM-based Distributed Congestion Control system model

이동상태 정보를 이용하여, i 번째 VUE를 중심으로 임계거리 D 이내에 있는 커넥티드 차량들의 수 VD_i^t 를 추정한다. 여기서, D 는 최대 송수신 거리로 설정되며, 링크 성능과 무선채널 환경을 고려하여 결정되어야 한다. 본 논문에서는 5G NR V2X의 링크 성능이 고려된 Semi-Persistent Scheduling(SPS) 임계값인 -94dBm 이상을 수신하는 VUE간의 최대 송수신거리를 WINNER+ 경로손실 모델⁵을 이용하여 도출하였다. 링크 버짓 파라미터인 수신 임계값 -94dBm, VUE 송신 전력 23dBm, 송신과 수신 안테나 이득 각각 3dBm, 대규모 페이딩 마진 3dBm을 가정하고, 가시영역(LOS)과 비가시영역(NLOS)이 혼재된 도심 환경에 대한 WINNER+ B1 경로손실 모델을 이용하여 VUE-VUE간, 그리고 VUE-RSU간 최대 허용 경로손실이 120dB임을 도출하였다. 그림 2와 같이 경로손실이 120dB 이상을 만족하는 VUE-VUE간 최대 송수신 가능거리는 50m, VUE-RSU간 최대 송수신거리는 775m임을 도출하였다. 따라서, 도심환경에서 5G NR V2X에서 LDM 기반 분산혼잡제어 기술에서 적용될 임계거리 D 를 50m로 최적화한다.

임계거리 $D=50m$ 이내에 분포하는 차량들의 수 VD_i^t 에 의해, VUE i 의 t 번째 서브 프레임에서의 메시지 전송 주기 T_i^t 를 다음과 같이 결정한다.

$$T_i^t = \max\{100, \min[100 + 100\alpha(VD_i^t/B - 1), 600]\} \quad (1)$$

여기서 B 는 밀도 계수이며 SAE J2945/1에서는 25로 규정되고, α 는 0과 1사이의 값을 가지며 메시지

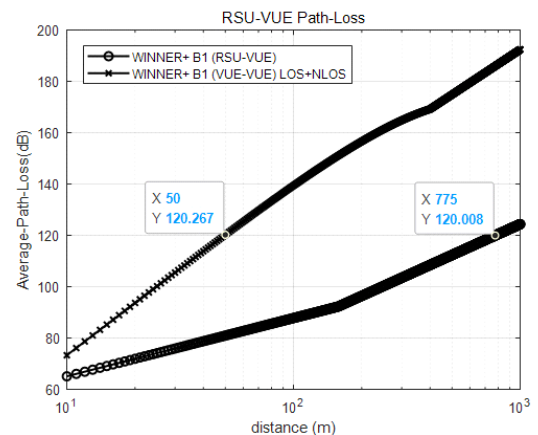


그림 2. 무선채널환경에 따른 임계 거리 최적화
Fig. 2. Optimization of critical distance according to wireless channel environments

전송 주기 T_i^i 의 급격한 증가를 완화시켜준다⁶⁾.

III. 도심환경 분산혼잡제어 시뮬레이션 및 결과

5G NR V2X 네트워크의 자원할당 성능을 평가할 수 있는 WiLabV2Xsim⁷⁾을 기반으로 시뮬레이션을 수행한다. 표 2는 시뮬레이션 파라미터들을 보여준다. 도심환경을 모사하는 Urban Grid 모델을 기반으로 250m×433m 크기의 도심 블록이 nBlock× nBlock으로 구성되어 있으며, 20m 폭 도로는 3.5m 폭의 왕복 4차선과 3m 폭의 양쪽 보도로 구성되어 있다. 3GPP의 CBR 기반 DCC와 제안하는 LDM 기반 DCC의 성능을 PDR(Packet Delivery Ratio)와 IPG(Inter Packet Gap) 측면에서 비교 분석하였다.

그림 3과 그림 4는 2×2 도심 블록으로 구성된 도심

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table 2. Simulation Parameters

표준 버전	3GPP NR-V2X mode 2
시뮬레이션시간	20초
중심 주파수	5.9 GHz
대역폭	10 MHz
MCS index	7(=QPSK)
패킷 크기	350 bytes
SPS 임계값	-94 dBm
전파모델	WINNER II, B1
도로 환경	Urban Grid
차량 속도	60km/h
차량 VUE 밀도	nBlock=2에서 1,048대 및 1,640대

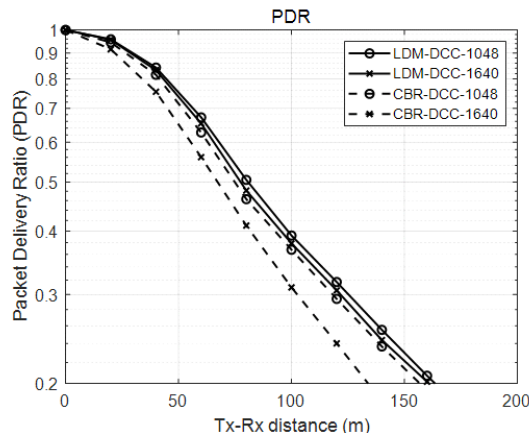


그림 3. LDM과 CBR 기반 분산혼잡제어의 PDR 비교
Fig. 3. PDR comparison of LDM and CBR-based DCC

환경에서 각각 1,048대와 1,640대 차량 VUE들이 분포할 경우, 3GPP의 CBR 기반 DCC와 제안하는 LDM 기반 DCC의 PDR과 평균 IPG 성능을 보여준다. 1,048대의 차량밀도 상황에서 LDM 기반 DCC는 CBR 기반 DCC에 비해 1.3~ 9.9% 우수한 PDR 성능을 보이며, 동시에 7~18ms 더 낮은 우수한 IPG 성능을 보여준다. 1,640대로 차량 밀도가 증가할 경우, LDM 기반 DCC는 PDR과 IPG의 성능 열화를 최소화하지만 CBR 기반 DCC의 IPG는 성능 열화가 증가됨을 확인할 수 있다.

표 3은 불균일한 VUE 분포 특성을 가지는 urban grid 도로환경과 균일한 분포 특성을 보이는 expressway 환경²⁾에서, 제안하는 LDM 기반 DCC가 CBR 기반 DCC에 비해 보이는 성능의 개선도, 즉 PDR의 증가율과 IPG의 감소율을 보여준다. 제안하는 LDM 기반 DCC에서 VUE가 불균일한 환경에서 VUE 밀도가 증가할수록 PDR과 IPG에서의 성능 이득이 증가함을 확인할 수 있다.

제안된 LDM 기반 분산혼잡제어의 우수한 성능은 도시의 불균일한 혼잡 상황에서도 VUE가 SDSM의 LDM layer 4 정보를 이용하여 주변 차량 밀도를 정

표 3. VUE 분포 특성에 따른 LDM 혼잡제어의 CBR 혼잡 제어 대비 성능 개선도
Table 3. Performance improvement of LDM-based over CBR-based DCC depending on VUE distribution characteristics

환경	Expressway(균일분포)		Urban(불균일분포)	
	VUE 밀도	PDR 개선도	VUE 밀도	IPG 개선도
VUE 밀도	400	600	1048	1640
PDR 개선도	0.5~3%	0.5~5%	1.4~9.9%	4~36%
IPG 개선도	거의동일	12~14%	5.3~9.7%	19~32%

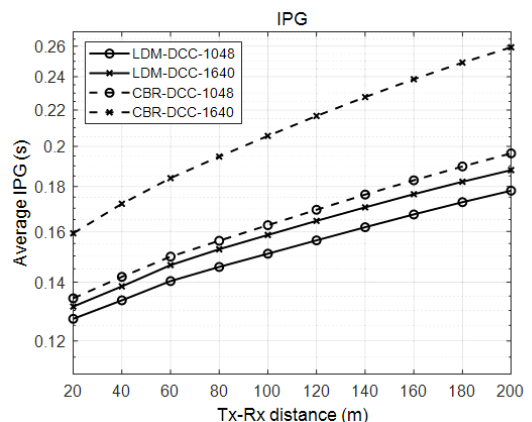


그림 4. LDM과 CBR 기반 분산혼잡제어의 IPG 비교
Fig. 4. IPG comparison of LDM and CBR-based DCC

확하게 추정하고 전송주기를 세밀히 조절할 수 있기 때문이다. 반면에, 3GPP의 CBR 기반 분산혼잡제어는 최대 4개 단계로 전송주기를 조절하기 때문에 혼잡도 변화에 따른 미세한 전송주기 조절이 불가능하다.

References

- [1] M. Harounabadi, D. M. Soleymani, S. Bhadauria, M. Leyh, and E. Roth-Mandutz, "V2X in 3GPP standardization: NR sidelink in release-16 and beyond," *IEEE Commun. Standards Mag.*, vol. 5, no. 1, pp. 12-21, 2021.
(<https://doi.org/10.1109/mcomstd.001.2000070>)
- [2] G. S. Jung, C. K. Jung, and C. Mun, "Distributed congestion control exploiting local congestion information for C-V2X," *JKIEES*, vol. 32, no. 2, pp. 101-109, Feb. 2021.
(<https://doi.org/10.5515/kjkiees.2021.32.2.101>)
- [3] ETSI TR 102 863(v.1.1.1), "*Intelligent Transport Systems(ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Local Dynamic Map(LDM); Rationale for and Guidance on Standardization*," Tech. Rep., 2011.
(<https://doi.org/10.3403/30264794>)
- [4] "V2X Sensor-Sharing for Cooperative and Automated Driving," SAE J3224, Aug. 2022.
(https://doi.org/10.4271/j3224_202208)
- [5] "D5.3: WINNER + Final Channel Models," Wireless World Initiative New Radio - WINNER+ WP5, Jun. 2010.
- [6] Y. Yoon and H. Kim, "Balancing power and rate control for improved congestion control in cellular V2X communication environment," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 105071-105081, Jun. 2020.
(<https://doi.org/10.1109/access.2020.2999925>)
- [7] *Web page of WiLabV2Xsim*, Available: <https://github.com/V2Xgithub/WiLabV2Xsim>.