

Cellular V2X에서 Local Dynamic Map 기반 분산 혼잡 제어

정구선, 문철

한국교통대학교

rntjs300@ut.ac.kr, chmun@ut.ac.kr

Distributed Congestion Control Based on Local Dynamic Map in Cellular V2X

Gu-Sun Joung, Cheol Mun

Korea National University of Transportation

요약

본 논문은 혼잡한 도로상황에 따른 C-V2X(cellular vehicle-to-everything) 통신 시스템에서 발생하는 패킷 충돌로 인한 성능 열화를 극복하기 위해 LDM(local dynamic map)에 기반한 분산혼잡제어(distributed congestion control, DCC) 시스템을 제안하고, LDM의 동적 계층 정보를 이용하여 각 VUE(vehicular user equipment)에서 독립적으로 TTI(transmission time interval)와 전송전력을 동시에 제어하는 알고리즘을 제안한다. 모의실험 결과 제안하는 DCC 알고리즘이 혼잡상황에서 PDR(packet delivery ratio)과 IPG(inter-packet gap) 측면에서 기존 알고리즘보다 성능을 향상시킴을 확인하였다.

I. 서론

3GPP는 V2X(vehicle-to-everything) 통신을 지원하기 위해 Release 14에서 LTE(long term evolution) 기반의 cellular V2X 통신을 표준화하였다. 특히, C-V2X mode 4에서 각 VUE(vehicular user equipment)는 셀룰러 인프라 지원 없이 독자적으로 무선자원을 예약하여 메시지를 전송한다. 그러나, 도로상의 혼잡도가 증가하여 경쟁하는 VUE가 증가할수록 각 VUE가 같은 무선자원을 예약하고 전송된 메시지는 충돌하여 손실되는 결과가 자주 발생한다. 이러한 문제는 분산혼잡제어(distributed congestion control, DCC)를 통해 각 VUE가 차량 혼잡도에 따라 패킷 충돌을 억제할 수 있는 최적의 전송주기(transmission time interval, TTI), 전송전력, 그리고 변조 및 코딩(modulation coding scheme, MCS)을 통해 패킷을 송신함으로써 해결할 수 있다[1].

SAE(society of automotive engineers) J2945/1[2]은 DSRC(dedicated short range communication)를 위한 TTI와 전송전력 제어 알고리즘을 표준화하였다. 반면에 C-V2X를 위한 DCC 표준으로써, DSRC용 DCC 표준인 SAE J2945/1을 C-V2X 표준에 적용한 SAE J3161/1[3]을 개발 중이다. 또한, C-V2X 표준에 SAE J2945/1 DCC 알고리즘을 적용한 연구들이 진행되어왔다[4]~[6]. 여기서, SAE J2945/1 DCC 알고리즘은 각 VUE에서 주변 차량들로부터 성공적으로 수신된 Cooperative Awareness Messages(CAM)을 통해 주변 차량 밀도를 측정하고 그에 따른 전송주기와 전송전력을 제어한다. 그러나, 혼잡상황에서는 CAM 메시지 충돌이 발생하기 때문에 이를 송신한 VUE를 주변 차량 밀도 측정에 고려하지 못하기 때문에, 부정확한 혼잡도 측정에 기인한 DCC의 성능 열화가 발생한다.

따라서, 본 논문에서는 C-V2X mode 4 환경에서 LDM(local dynamic map)[7]의 동적계층 정보를 활용하여 혼잡도를 정확히 측정하고 이를 토대로 혼잡도에 따른 전송주기와 전송전력을 적응적으로 제어하는 DCC 알고리즘을 제안한다. 그리고 제안하는 알고리즘이 기존 수신된 CAM 기반하여 혼잡도 측정하는 DCC 알고리즘보다 전송주기와 전송전력을 더 정확하게 제어하는 것을 시뮬레이션 기반 성능분석을 통해 검증한다.

II. SAE J2945/1 DCC 알고리즘

SAE J2945/1에서는 DSRC 환경에서 사용할 수 있는 DCC를 위한 TTI 및 전송전력 제어 알고리즘을 제안하고 있다[2]. 먼저 TTI 제어는 VUE i 의 시간 t 에서 다음 전송할 패킷의 주기를 이웃 차량 밀도(VUE density, VD_t^i)에 기초하여 측정된다. VD_t^i 는 오류 없이 수신한 주변 VUE들의 CAM(Cooperative Awareness Message) 메시지에 담긴 각 차량의 상태정보를 이용하여 결정되며, VUE i 의 반경 100 m 내에 위치한 이웃 VUE의 수로써 결정된다. VD_t^i 에 따른 TTI_t^i 는 다음과 같다[4].

$$TTI_t^i = \begin{cases} 100 \text{ ms} & VD_t^i \leq B \\ (100 \cdot VD_t^i)/B \text{ ms} & B < VD_t^i < 6B \\ 600 \text{ ms} & 6B \leq VD_t^i \end{cases} \quad (1)$$

여기서 B 는 밀도 계수이며, SAE J2945/1에서는 25로 규정한다. 또한, [5]의 연구에서는 VD_t^i 에 따른 TTI가 급격히 증가하는 문제점을 제시했으며, 이를 해결하기 위해 완화된 TTI 제어를 다음과 같이 제안했다.

$$TTI_t^i = \max[100, \min[100 + 100 \cdot \alpha \cdot ((VD_t^i - B)/B), 600]] \text{ ms} \quad (2)$$

(2)의 수식을 본 논문에서 설명하는 SAE J2945/1 TTI 제어 알고리즘으로 고려한다.

전송전력 제어는 VUE i 의 시간 t 에서 전송전력을 CBR(channel busy ratio)에 기초하여 측정된다. CBR은 VUE i 의 주변 다른 다수의 VUE에 의해 사용된 채널 이용률이다[1]. CBR_t^i 에 따른 P_t^i 는 다음과 같다[4].

$$P_t^i(\text{dBm}) = P_{t-t_0}^i + \lambda \cdot (f(CBR_t^i) - P_{t-t_0}^i) \quad (3)$$

$$f(CBR_t^i) = \begin{cases} 23 & CBR_k^i \leq 50\% \\ 23 - ((CBR_t^i - 50\%) \cdot (13/30)) & 50\% < CBR_k^i < 80\% \\ 10 & 80\% \leq CBR_k^i \end{cases}$$

여기서 $P_{t-t_0}^i$ 는 시간 t 의 이전 시간인 $t-t_0$ 에서 VUE i 의 전송전력을 나타내며, λ 는 전송전력 조절 이득으로 SAE J2945/1에서는 0.5로 규정한다.

III. 제안하는 LDM 시스템 모델

LDM은 C-ITS(Cooperative Intelligent Transportation System) 서비스나 자율주행을 지원하기 위해 V2X 통신 시스템의 RSU(Road Side Unit)에서 VUE에게 제공해야 할 중요 정보로써, 최초의 표준은 ETSI(European Telecommunication

Standardization Institute)에서 규정되었다. 그림 1과 같이 LDM은 정보의 업데이트 주기에 따라 4개의 hierarchical layer에 정보를 저장한다. 특히, highly dynamic layer에서는 RSU에서 VUE로부터 수신한 CAM 정보에 의해 식별되고 노변 인프라 센서에 의해 인지된 차량들의 위치, 방향, 속도 정보 등을 포함한다[7].

기존 SAE J2945/1 TTI 제어 알고리즘의 VD_i^t 측정은 오류 없이 수신한 반경 100 m 내 주변 VUE들의 CAM을 이용하여 결정되기 때문에 주변 VUE 밀도를 완벽하게 측정할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 LDM 시스템 모델을 제안한다. LDM 시스템 모델은 주변 VUE들의 CAM 정보를 LDM의 highly dynamic layer에 저장하고, 동시에 VUE i 는 RSU(road side unit)으로부터 LDM 정보를 수신하는 시스템 모델이다. 이에 의해 VUE i 는 100 m 내 주변 VUE들의 CAM 수신 여부와 상관없이 완벽하게 VD_i^t 를 측정할 수 있으며, VD_i^t 에 따른 TTI와 전송전력을 각각 식 (2)와 식 (3)에 의해 정확하게 제어할 수 있다. 그림 1은 제안하는 LDM 시스템 모델을 보여준다.

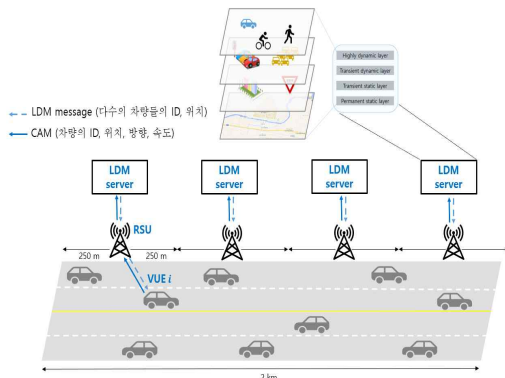


그림 1. 제안하는 LDM 기반 분산혼잡제어 시스템 모델

IV. 모의실험 결과

시뮬레이션은 C-V2X 네트워크의 자원할당을 평가하기 위한 동적 시뮬레이터인 LTEV2Vsim[8]을 기반으로 수행된다. 시뮬레이션의 환경 및 파라미터는 표 1과 같다. 제안하는 알고리즘의 성능을 PDR(packet delivery ratio)과 IPG(inter-packet gap) 측면에서 분석한다. PDR은 주어진 통신거리에서 모든 VUE 사이에 전송된 패킷 중 오류 없이 전송된 패킷의 비율이다. IPG는 동일한 송신 VUE와 수신 VUE 사이에서 연속적으로 오류 없이 수신된 2개의 패킷 사이 시간간격이다. 제안하는 알고리즘의 성능을 PDR과 평균 IPG(inter-packet gap) 관점에서 분석한다. IPG는 동일한 송신 VUE와 수신 VUE 사이에서 연속적으로 오류 없이 수신된 2개의 패킷 사이 시간 간격이며, 평균 IPG는 송수신기 거리에 따른 시뮬레이션 환경 내 모든 VUE들의 IPG에 대한 평균이다. 시뮬레이션 내에서 도로환경은 2 km 고속도로, 왕복 8차선이다. 차량 속도는 60 km/h, 표준편차 3 km/h이며, 차량 밀도는 2 km 내 400대와 800대로 구성했다.

그림 2는 2km 내 400대와 800대의 VUE 밀도에서 제안하는 LDM 기반 SAE J2945/1 DCC 알고리즘과 기존 CAM 기반 SAE J2945/1 DCC 알고리즘의 PDR과 평균 IPG 성능을 나타낸다. 400대 혼잡도 상황에서 제안하는 LDM 기반 SAE J2945/1 DCC 알고리즘은 기존 SAE J2945/1 DCC 알고리즘에 비해 5.6~12.2% PDR 이득을 가지며, 0~17.8 ms 더 작은 평균 IPG를 제공한다. 800대 혼잡도 상황에서 제안하는 LDM 기반 SAE J2945/1 DCC 알고리즘은 7.4~9.2% PDR 이득을 가지며, 송수신기거리 > 80 m에서 0~7.4 ms 더 작은 평균 IPG를 제공한다. 송수신기거리 ≤ 80 m에서 제안하는 알고리즘이 더 높은 평균 IPG를 갖는 이유는 LDM 정보를 통해 완벽하게 VD_i^t 를 측정, 즉 더 높은 TTI를 갖기 때문이다.

따라서, 제안하는 LDM 기반 SAE J2945/1 DCC 알고리즘은 다양한 혼잡도 상황에서 PDR과 IPG 측면에서 기존 SAE J2945/1 DCC 알고리즘에 비해 성능이 향상됨을 보여준다. 또한, 제안하는 알고리즘은 기존 알고리즘보다 TTI가 더 높게 제어되지만, 성능이 향상됨으로 보아 최적의 TTI에 근접한다는 것을 유추할 수 있다.

표 1. 시뮬레이션 환경 및 시스템 파라미터

표준 버전	C-V2X mode 4	MCS index	6(=QPSK, 0.48)
시뮬레이션시간	20초	전파모델	WINNER II, B1
중심 주파수	5.9 GHz	VUE의 TTI	식 (2) 통해 결정
대역폭	10 MHz	VUE의 전송전력	식 (3) 통해 결정
CAM 크기	300 bytes	RSU의 TTI	100 ms
LDM 메시지 크기	600 bytes	RSU의 전송전력	40 dBm

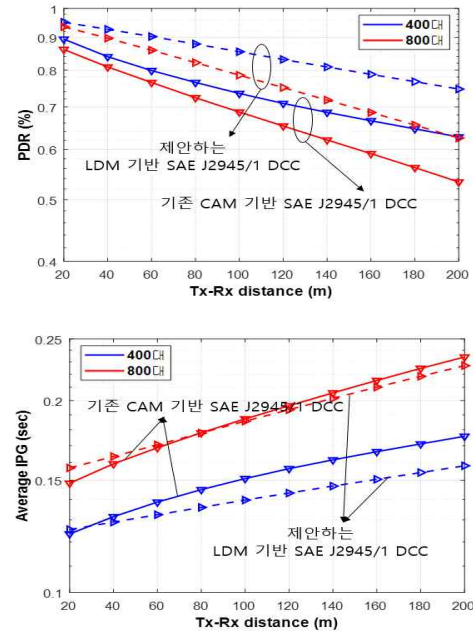


그림 2. 다양한 혼잡도에서 PDR과 IPG 성능 비교

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 Grand ICT 연구센터지원사업(IITP-2021-0-01462)과 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원(21AMDP-C160502-01)으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] 정구선, 정창규, 문철, "C-V2X를 위한 지역 혼잡도 정보를 이용한 분산 혼잡 제어," 한국전자과학회논문지, vol. 32, no. 2, pp. 101-109, Feb. 2021.
- [2] SAE International, on-board system requirements for V2V safety communications, Standard Doc. J2945/1, 2016.
- [3] SAE International, on-board system requirements for LTE-V2V safety communications(under development), Standard Doc. J3161/1, Aug. 2019.
- [4] B. Toghi, M. Saifuddin, Y. P. Fallah, and M. O. Mughal, "Analysis of distributed congestion control in cellular vehicle-to-everything networks," in 2019 IEEE 90th Veh. Technol. Conf.(VTC-Fall), 2019.
- [5] Y. Yoon, 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.
- [6] T. Shimizu, B. Cheng, H. Lu, and J. Kenney, "Comparative analysis of DSRC and LTE-V2X PC5 mode 4 with SAE congestion control," in 2020 IEEE Veh. Netw. Conf.(VNC), Dec. 2020.
- [7] 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.
- [8] Web page of LTEV2Vsim. [Online]. Available: <https://github.com/alessandrobazzi/LTEV2Vsim>