

## J2945/1 혼잡 제어 알고리즘을 적용한 C-V2X mode 4 성능 분석

전병철, 조한신

한밭대학교

wjsqudcjfwkd@naver.com, hsjo@hanbat.ac.kr

## Performance Analysis of C-V2X mode 4 with J2945/1 Congestion Control Algorithm

Byeong-Cheol Jeon, Han-shin Jo

Hanbat National University

## 요약

본 연구에서는 Society of Automotive Engineers (SAE) J2945/1 표준에서 제안한 분산 혼잡 제어 알고리즘의 전송 주기 제어와 전송 전력 제어를 Cellular-Vehicle to Everything (C-V2X) mode 4 에 적용 시 혼잡 제어 성능 분석을 수행하였다. 기존 연구에서는 전송 주기 제어와 전송 전력 제어의 불균형을 문제로 삼았고, 이완 계수  $\alpha$  를 도입하여 전송 주기를 조절했다. J2945/1의 혼잡 제어 알고리즘이 C-V2X에 적용될 수 있다는 점을 고려하면 전송 전력 제어도 고려한 성능 분석을 할 필요가 있다. 따라서 이완 계수  $\beta$  를 적용해 전송 전력을 조절하여 성능 분석을 하였으며, 성능 지표는 패킷 간 간격과 패킷 전송률을 동시에 확인할 수 있는 sidelink throughput (SLT)으로 성능을 분석했다. 결과적으로 송수신 간의 거리가 가까울 경우, 전송 전력 제어의 영향이 크지 않았으며 전송 주기가 짧을수록 우수한 SLT 성능을 보였다. 반면, 송수신 간의 거리가 멀 경우, 높은 전송 전력과 긴 전송 주기를 이용할 때, 우수한 SLT 성능을 보였다.

## I. 서론

Vehicle to Everything (V2X)은 차량이 유·무선망을 통해 다른 차량 및 도로 등 인프라가 구축된 사물과 정보를 교환하는 것이다. Cellular-Vehicle to Everything (C-V2X)은 3GPP Rel.14에서 제안한 이동통신 기술 기반의 V2X 통신 기술을 칭한다.

미국의 Society of Automotive Engineers (SAE)의 J2945/1 표준에서는 Dedicated Short Range Communication (DSRC) 기반 distributed congestion control (DCC) 알고리즘을 제시했다[1]. DSRC는 근거리 전용 고속 패킷 통신 시스템으로 WiFi 기반의 통신 시스템이다. J3161/1에서는 J2945/1을 기반으로 3GPP Rel. 14에 지정된 C-V2X를 기존의 Long-Term Evolution (LTE) 통신 기술이 아닌 무선 통신 기술로 사용하고 있으며, 이는 앞으로 더욱 활발하게 연구될 것으로 예상된다[2]. 따라서, 본 연구에서는 SAE J2945/1에서 제안한 DCC 알고리즘의 전송 주기 제어와 전송 전력 제어에 대해 3GPP의 C-V2X에서의 성능 분석에 초점을 맞출 것이다.

## II. C-V2X에 적용된 SAE J2945/1의 DCC 알고리즘

J2945/1의 DCC 알고리즘은 전송 주기 제어, 전송 전력 제어를 통해 채널 혼잡도 (channel busy ratio, CBR)를 낮추고 통신 성능을 향상시킨다. 전송 주기 제어는 차량 밀도 (vehicle density, VD)에 의존적이며, 다음과 같이 계산된다.

$$ITT = \begin{cases} 0.1 & (VD \leq 25) \\ \frac{VD}{250} & (25 < VD < 150), \\ 0.6 & (150 \leq VD) \end{cases} \quad (1)$$

여기서 VD는 100 m 이내의 차량 밀도를 의미한다.

$$P_{tx} = \begin{cases} 23 & (CBR \leq 50) \\ 23 - \frac{13}{30}(CBR - 50) & (50 < CBR < 80) \\ 10 & (80 \leq CBR) \end{cases} \quad (2)$$

전송 전력 제어는 CBR을 통해 제어되며, (2)로 계산된다. 즉, 전송 전력 값은 CBR이 높을수록 전송 전력을 낮추고, CBR이 높으면 전송 전력을 높여서 CBR을 조정한다.

기존 연구[3]에서는 J2945/1 DCC 알고리즘이 C-V2X에 적용될 때, 전송 전력 제어와 전송 주기 제어의 불균형을 문제 삼았다. 두 제어 알고리즘의 균형을 맞추기 위해 해당 연구에서는 이완 계수  $\alpha$  를 추가하여, 다음과 같은 전송 주기를 결정한다.

$$ITT = \max \left[ 0.1, \min \left[ 0.1 + \alpha \times \frac{VD - 25}{250}, 0.6 \right] \right], \quad (3)$$

여기서  $\alpha$ 는 0과 1 사이의 값이다. <그림 1>과 같이 이완 계수  $\alpha$ 를 적용했을 때 같은 차량 밀도 VD의 상황에서 전송 주기가 짧아지는 것을 확인할 수 있다.

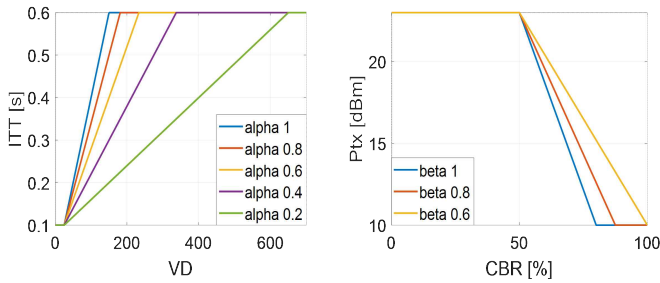
## III. 성능 분석을 위한 추가된 알고리즘

그러나, 이와 같은 방식은 J2945/1의 전송 전력 제어를 고려하지 않는다. J2945/1 DCC 알고리즘이 C-V2X에 적용될 수 있다는 점을 고려하면, J2945/1 DCC 알고리즘의 전송 전력 제어와 전송 주기 제어를 모두 고려하여 성능 분석을 할 필요가 있다. 따라서, 본 논문에서는 전송 주기 제어와 전송 전력 제어에 이완 계수  $\alpha, \beta$ 를 각각 적용하여 두 제어 알고리즘의 영향을 분석한다.

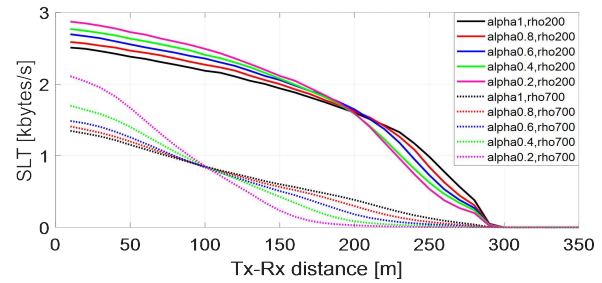
이를 위해 식(2)에  $\beta$ 를 추가로 적용한 새로운 전력제어 알고리즘을 다음과 같이 제안한다.

$$P_{tx} = \min \left[ 23, \max \left[ 23 - \beta \times \frac{13}{30} \times (CBR - 50), 10 \right] \right] \quad (4)$$

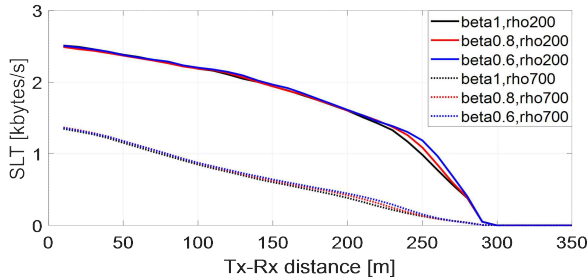
$\beta$ 가 0.6 이하로 떨어지면 CBR이 100% 일 때 전송 전력이 10 dBm까지 떨어지지 않기 때문에  $\beta$ 는 0.6과 1 사이의 값으로 설정했다. <그림 1>과 같이 CBR이 높을 때 J2945/1의 전송 전력 제어 알고리즘보다 높은 전송 전력을 사용한다.



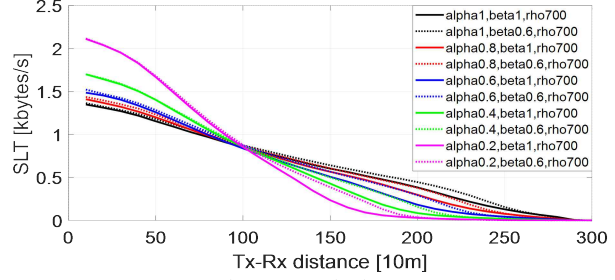
〈그림 1〉  $\alpha, \beta$ 를 적용한 전송 주기 (ITT)와 전송 전력 ( $P_{tx}$ )



〈그림 2〉  $\alpha$ 에 의한 SLT



〈그림 3〉  $\beta$ 에 의한 SLT



〈그림 4〉  $\alpha, \beta$ 에 따른 SLT

#### IV. 결과 분석

Sidelink throughput (SLT)은 모든 노드 쌍에 대해 평균을 낸 이웃 차량으로부터 호스트 차량이 수신하는 초당 데이터 크기 (bytes/s)로 정의한다. SLT는 패킷 간 간격 (inter-packet gap, IPG)과 패킷 전송률 (packet delivery ratio, PDR)을 동시에 확인할 수 있는 성능 지표이다. 본 연구에서는 시뮬레이션 시나리오에서 밀도가 가장 혼잡한 700과 밀도가 낮은 200을 비교하여 분석한다.

##### 4.1 이완 계수 $\alpha$ 에 의한 SLT 성능 결과

〈그림 2〉는 23 dBm의 전송 전력일 때  $\alpha$ 가 감소함에 따라 SLT 성능의 변화를 그린 그래프이다. 〈그림 2〉에서  $\alpha$ 가 감소함에 따라 전송 주기는 짧아진다. VD가 50일 때  $\alpha$ 가 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.2일 때 각각 전송 지연 시간은 각각 0.2, 0.18, 0.16, 0.14, 0.12 초로 계산된다.

〈그림 2〉의 결과에서 송수신 차량 간의 거리가 50 m이고,  $\rho=200$ 일 때 SLT는 2.73, 2.64, 2.56, 2.47, 2.38로  $\alpha$ 가 0.2일 때 가장 크고,  $\rho=700$ 일 때 1.67, 1.4, 1.26, 1.2, 1.15로 측정되며  $\rho=200$ 일 때와 마찬가지로  $\alpha$ 가 0.2일 때 가장 컸다. 밀도가 높은 도로 상황일수록 변화의 폭은  $\alpha$  값에 따라서 더욱 크게 나타난다.

##### 4.2 이완 계수 $\beta$ 에 의한 SLT 성능 결과

〈그림 3〉은 전송 주기가 0.1 초일 때 전송 전력의 변화에 따라 SLT의 성능을 나타낸 그래프이다. 〈그림 3〉에서는  $\beta$ 가 감소하면 전송 전력 그래프의 기울기는 완만해지고, 동일한 CBR에서 전송 전력이 증가한다. 예를 들어 CBR이 70%로 측정되었다고 가정한다면  $\beta$ 가 1, 0.8, 0.6일 때 전송 전력은 14.33, 16.07, 17.8로 계산된다.

〈그림 3〉에서  $\beta$ 의 값이 감소할 때 SLT 성능에는 큰 차이가 없지만, 송수신 차량 간의 거리가 먼 상황에서는 제일 작은  $\beta$ 를 선택하여 높은 전송 전력으로 송수신하는 경우의 SLT 값이 가장 좋다.

##### 4.3 $\alpha, \beta$ 를 사용한 SLT 성능 결과

〈그림 4〉는 전송 주기 제어와 전송 전력 제어에 이완 계수  $\alpha, \beta$ 를 사용한 SLT 성능 결과다. 성능 결과는 변화의 폭이 가장 큰  $\rho=700$ 일 때의 성능 결과로 극단적인 영향을 보여주기 위해  $\beta$ 는 1일 때와 0.6일 때 두

가지 경우에 대해 분석했다. 통신거리가 가까울수록 SLT는 전송 주기가 짧아질수록 값이 높게 나왔으며 통신거리가 멀어질수록 전송 주기가 느리고, 전송 전력이 강할수록 더 좋은 성능을 보였다. 하지만 현재 시나리오의 설정은 Broadcast 방식의 통신 방법을 사용하기 때문에 송수신 차량 간의 거리에 따라 패킷 전송 시간을 조절할 수 있는 한계가 있다.

#### V. 결론

기존 연구는 극단적으로 밀도가 높은 상황이 아니면 분산 혼잡 제어 알고리즘이 작동하지 않아 발생하는 전송 전력 제어와 전송 주기 제어 간의 불균형을 문제로 삼았고, 이를 해결하기 위해  $\alpha$ 를 적용하여 두 제어 알고리즘 간의 불균형을 조절했다. 본 논문에서는  $\alpha$ 와 더불어  $\beta$ 를 추가로 적용한 연구를 진행하였고,  $\alpha$ 를 이용하여 전송 주기를 조절한 성능을 평가했을 때 밀도가 높은 상황일수록 근거리에서의 SLT 성능이 향상되는 것을 확인했다. 또한,  $\beta$ 를 적용한 전송 전력 제어 알고리즘의 SLT 성능은 가까운 거리에서 비슷한 성능을 보였지만 거리가 멀어질수록 높은 전력을 사용할 때 더 좋은 성능을 내는 것을 확인하였다. 따라서  $\beta$ 를 추가로 적용함으로써 기존 연구보다 더 명확한 결과를 도출할 수 있었다. 향후 Unicast, Multicast 등의 다양한 시나리오 환경에서 SAE J2945/1의 알고리즘을 보완하여 전송 주기 제어와 전송 전력 제어 알고리즘에 대한 통신 성능 개선을 위해 연구할 계획이다.

#### 참고 문헌

- [1] *On-Board System Requirements for V2V Safety Communications*, Standard SAE J2945/1, 2016.
- [2] *On-Board System Requirements for LTE V2X V2V Safety Communications*, Standard SAE J3161/1, Aug. 2019
- [3] Y. Yoon and H. Kim, "Balancing Power and Rate Control for Improved Congestion Control in Cellular V2X Communication Environments", *IEEE Access*, vol. 8, pp. 105071-105081, June 2020