

혼합 트래픽 상황에서 5G NR V2X를 위한 적응적 DENM 전송 기법

유승재, 문철

한국교통대학교, 한국교통대학교

4242tmdwo@ut.ac.kr, chmun@ut.ac.kr

Adaptive DENM Transmission Techniques for 5G NR V2X in Mixed Traffic Situations

Yu Seung Jae, Mun Cheol

Korea National University of Transportation

요약

3GPP(3rd Generation Partnership Project) 5G NR(New Radio) V2X(Vehicle-to-everything)의 Mode 2에서 각 VUE(Vehicle User Equipment)는 주기적 메시지와 비주기적 메시지는 각각 SB-SPS(Sensing-Based Semi-Persistent Scheduling)와 DS(Dynamic Scheduling)을 이용하여 스스로 무선 자원을 선택하고 메시지를 전송한다. 비주기적 메시지인 DENM(Decentralized Environmental Message)의 PDR(Packet Delivery Ratio) 개선을 위해 DS시에 메시지 재전송이 제안되고 있으나, 전송 메시지의 재전송 때문에 채널 혼잡도가 증가하고 자원 할당 중 패킷 충돌이 증가하게 된다. 본 논문에서는 채널 혼잡도 CBR(Channel Busy Ratio)을 추정하고 비주기적 메시지 DENM의 재전송 횟수를 CBR에 따라 적응적으로 조절하는 DENM 전송 기법을 제안한다. 또한 시뮬레이터를 통해 주기적 메시지와 비주기적 메시지 혼합된 환경에서 제안하는 기법이 PDR 측면에서 주기적 메시지와 비주기적 메시지 모두의 성능을 개선함을 분석하였다.

I. 서론

3GPP(3rd Generation Partnership Project)는 Rel 16에서 V2X(Vehicle-to-everything) 통신을 지원하기 위한 5G 기반의 NR(New Radio) V2X의 자원 예약 방식인 Mode 2를 표준화 하였다[1]. Mode 2에 선 주기적 메시지의 자원 예약을 위한 SB-SPS(sensing-based semi-persistent scheduling)와 비주기적 메시지의 자원 예약을 위한 DS(dynamic scheduling) 방식이 있다. SB-SPS는 무선 자원을 예약할 때 무선 자원의 사용 가능성을 감지하고 이를 기반으로 자원을 예약한 후 해당 자원을 무작위로 정해진 시간만큼 지속한다. 반면 Rel 16에서 추가된 DS 방식은 SB-SPS와 달리 VUE의 메시지 전송마다 새로운 자원을 예약하는 방식이며 자원의 감지와 선택 과정은 동일하다.

본 연구에서는 SB-SPS 방식을 사용하여 무선 자원을 예약하는 주기적 메시지인 CAM과 DS 방식을 사용하여 무선 자원을 예약하는 비주기적 메시지인 DENM이 혼합된 트래픽 상황을 가정한다.

선행 연구에서는 DENM의 재전송 횟수를 늘림으로써 그 성능이 향상됨을 확인했다[2]. 하지만, 이러한 재전송은 CAM의 자원 예약 간 발생하는 패킷 충돌을 증가시켜 CAM의 성능 저하를 발생시킨다. 이에 본 연구에서는 Blind HARQ(Hybrid Automatic Repeat and reQuest) 기법[3]을 적용하여 DENM의 동일 패킷을 재전송하며, 충돌을 완화하기 위해 CBR(Channel Busy Ratio)을 추정해 DENM의 재전송 횟수를 적응적으로 조절하는 적응적 DENM 전송 기법을 제안한다. 이 기법의 효과는 WiLabV2Xsim 동적 시뮬레이터[4]를 통해 PDR(Packet Delivery Ratio) 측면에서 분석한다.

II. CAM을 위한 CBR 기반 분석 혼잡 제어

본 연구에서는 DENM의 재전송으로 인해 증가한 채널 혼잡도에서 CAM의 패킷 충돌을 완화하기 위해 ETSI(European

Telecommunications Standards Institute)가 표준화한 CBR 반 분산 혼잡 제어 기술을 적용하여 CAM의 전송 주기를 조절하였으며, Rel 16에서는 분산 혼잡 제어 기술의 지표가 되는 CBR과 CR의 추정 방법을 정의 하였다[1]. 따라서 본 연구에서는 위에서 정의된 CBR과 CR 추정법을 통해 각 VUE가 CBR을 추정하고, 이를 기반으로 CR(Channel occupancy Ratio)의 최대 허용값인 CR_{limit} 을 추정하며, 추정된 CR_{limit} 에 따라 CAM의 전송 주기를 조절하게 된다. 표 1에서는 추정된 CBR에 따른 CR_{limit} 과 CAM의 전송 주기가 정의된다.

CBR measured	CR limit	전송 주기(ms)
$0 \leq CBR \leq 0.3$	No limit	100
$0.3 \leq CBR \leq 0.65$	0.03	100
$0.65 \leq CBR \leq 0.8$	0.006	100
$0.8 \leq CBR \leq 1$	0.003	167

표 1. 추정된 CBR에 따른 CR_{limit} 및 CAM의 전송 주기

III. 적응적 DENM 전송 기법

DENM의 재전송으로 인해 높은 부하를 가지게 된 무선 채널에서 지속적으로 발생하는 패킷 충돌 및 과도한 패킷 손실을 완화하기 위한 적응적 DENM 전송 기법을 소개한다. 표 2에서는 설정한 CBR 임계값에 따른 DENM의 전송 횟수를 나타내며, 이를 통해 각 VUE는 채널의 혼잡 상황에 따라 DENM의 전송 횟수를 조절할 수 있다.

본 연구에서는 메시지 유형에 따라 전송 전략을 다르게 적용하였으며, CAM은 전송 주기 조절을 통해 채널의 혼잡을 제어하는 반면, DENM은 재전송 패킷의 삭제를 통해 혼잡을 제어한다. 이러한 방법은 DENM의 재전송으로 증가한 높은 채널 혼잡도에서 패킷 충돌과 패킷 손실을 완화하는 데 중요한 역할을 한다.

	200 대/Km	400 대/Km	800 대/Km
CBR measured	전송 횟수	전송 횟수	전송 횟수
$0 \leq \text{CBR} \leq 0.3$	2	2	2
$0.3 \leq \text{CBR} \leq 0.65$	1	1	2
$0.65 \leq \text{CBR}$	1	1	1

표 2. CBR 임계값에 따른 DENM 전송 횟수

III. 시뮬레이션 성능 분석

본 연구는 5G NR V2X의 통신환경을 구현하고 통신성능을 평가하기 위해 동적 시뮬레이터인 WiLabV2Xsim을 기반으로 수행했다. 해당 시뮬레이터는 NR V2X의 PHY 및 MAC 계층을 구현하였으며, Mode 2의 자원 할당 성능 분석을 중점으로 설계되었다.

본 시뮬레이터에서는 그림 1 과 같이 3GPP에서 묘사하는 고속도로 시나리오를 모델링하였다. 해당 모델은 길이가 2km인 고속도로에서 양방향으로 각각 3차선, 총 6차선을 포함하고 있으며, 각 차선의 폭은 4m이다.

차량의 속도는 평균 70 km/h, 표준 편차 3 km/h의 가우스 랜덤 변수로 설정되었다. 성능 검증은 다양한 차량 밀도 조건에서 수행되었다.

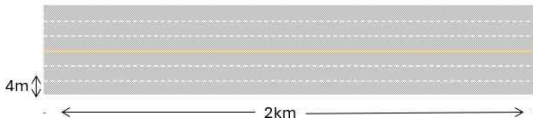


그림 1. 고속도로 시나리오

본 연구에서는 VUE간 LOS(Line Of Sight) 환경으로 통신하는 CAM과 DENM이 혼합 트래픽 모델을 구축하고 분석하였다. 모든 VUE는 100ms 간격으로 CAM 메시지를 송신하며, 30% 확률로 DENM이 생성된다. 이 시뮬레이션의 환경 및 세부 파라미터는 표 2 에 자세히 나타나 있다.

Parameter	Value
중심 주파수	5.9 GHz
채널 대역폭	10 MHz
Slot 길이	1 ms
SCS	15 KHz
CAM 전송 주기	100 ms
DENM 생성 확률	30%
CAM, DENM 패킷 크기	300 bytes
MCS index	7
차량 밀도	200, 400, 800 대/Km
도로 길이	2 km
채널 모델	WINNER II, B1
전송 전력	23 dBm
잡음 전력	9 dB
안테나 이득(Tx, Rx)	3 dB
시뮬레이션 시간	50 s

표 3. 시뮬레이션 환경 및 파라미터

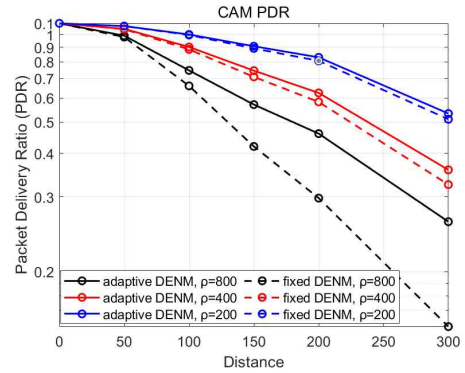
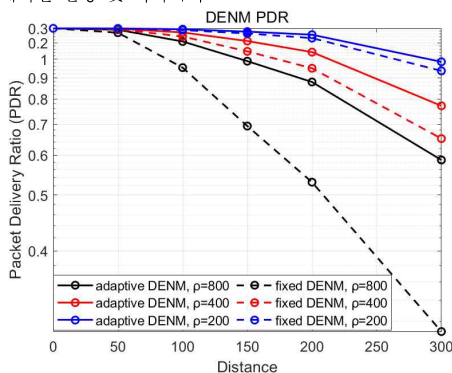


그림 2. 차량 밀도에 따른 DENM과 CAM의 PDR

그림 2 는 차량 밀도가 200 대, 400 대, 800 대일 때 적응적 DENM 전송 기법의 적용 유무에 따른 송수신 거리에 따른 DENM과 CAM의 PDR을 비교한 결과를 보여준다. 차량 밀도가 800 대일 때 적응적 DENM 전송 기법을 적용한 경우, DENM의 PDR은 적용하지 않았을 때 비해 34.25% 향상되었으며, CAM의 경우에는 21.84%의 성능 향상을 보였다. 차량 밀도가 400 대인 경우, 적응적 DENM 전송 기법을 적용하였을 때 DENM의 PDR은 적용하지 않았을 때보다 2.64% 향상되었고, CAM의 PDR은 1.57% 향상되었다. 차량 밀도가 200 대일 때는 미세한 성능 향상이 관찰되었다. 따라서 높은 채널 혼잡도에서 CBR을 추정하여 CAM의 전송 주기를 조절하고, DENM 재전송 패킷을 삭제함으로써, CAM과 DENM의 PDR 성능 향상을 제공할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 5G NR V2X Mode 2에서 DENM의 재전송으로 인해 증가한 채널 혼잡도 환경의 CAM과 DENM의 패킷 충돌을 완화하기 위해 적응적 DENM 전송 기법을 제안했다. 시뮬레이션 결과를 통해 고속도로 환경에서 적응적 DENM 전송 기법은 높은 채널 혼잡도일수록 CAM과 DENM의 높은 PDR 성능 향상을 제공할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2024년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음

참고 문헌

- [1] H. C. Garcia, A. Molina-Galan, M. Boban, J. Gozalvez, B. Coll-Perales, T. Sahin, and A. Kousaridas, "A Tutorial on 5G NR V2X Communications," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 23, no. 3, pp. 1972–2026, Feb. 2021.
- [2] F. Romeo, C. Campolo, A. O. Berthet, A. Molinaro, "Improving the DENM Reliability over 5G-V2X Sidelink through Repetitions and Diversity Combining," 2021 IEEE 4th 5G World Forum, Oct. 2021.
- [3] "C-V2X Technical Performance Frequently Asked Questions 80-PE732-67 Rev. A," Oct. 2019.
- [4] Web page of WiLabV2Xsim. [Online]. Available: <https://github.com/V2Xgithub/WiLabV2Xsim>