

고속도로 환경에서 RSU 릴레이를 통한 NR V2X 커버리지 확장 방안

이인성*, 김광해*, 김덕경^o

NR V2X Coverage Expansion Through RSU Relay in Highway Scenarios

In sung Lee*, Gwang Hae Kim*,
 Duk Kyung Kim^o

요약

본 레터에서는 NR V2X 통신 커버리지 확장을 위해 RSU (Road side unit) 기반 릴레이 방안을 제안한다. RSU 수신신호전력 대비 잡음 및 간섭전력의 비 (SINR) 기반으로 릴레이 대상 차량을 선별하고, 릴레이를 위한 자원 예약을 적용한다. 3D 기반 차단 모델을 새로이 적용한 시뮬레이션을 통해 제안된 방안의 커버리지 확장 성능이 우수함을 보인다.

Key Words : V2X communication, RSU relay, 3D blockage model

ABSTRACT

In this letter, we propose an RSU relay scheme to expand NR V2X communication coverage. The proposed scheme selects the vehicles to be relayed based on the signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR) received at the RSU, and apply the resource reservation for relay. Through simulations where 3D blockage model is newly implemented, we evaluate the proposed scheme in terms of packet reception rate with

various parameters.

1. 서론

5G NR V2X 기반 자율주행에서는 차량들이 주기적으로 위치, 속도, 이동 방향과 같은 차량 안전 정보를 담은 CAM (Cooperative Awareness Message)을 주기적으로 방송한다^[1]. 교통효율과 자율주행 안정성을 높이기 위해 이러한 정보들은 더 넓은 커버리지 내에서 높은 수신성공확률, PRR (Packet Reception Ratio)을 갖도록 해야 한다. 그러나 장애물 차량의 전파 차단에 의한 신호 감쇄, BL (Blockage Loss)과 센싱 기반 자원 할당에 의한 자원 충돌에 의해 커버리지가 제한되는 문제가 발생한다. 이를 해결하기 위해 차량 간 릴레이 방안이 연구되고 있지만, 넓은 커버리지를 지원하기 위해서는 다중 홉 전송이 필요하며, 이에 따른 자원할당 또한 여전히 풀어야 할 문제이다^[2,3,4,6]. 또한, 기존 2D 차단 모델 기반 연구들은 차량의 높이를 고려하지 않고 장애물 차량 대수에 비례하는 감쇄를 적용함에 따라, 실제 환경을 제대로 반영하지 못한 한계점을 가진다^[5].

군집주행 상황에서 RSU (Road Side Unit)를 활용한 연구가 있으나^[7], 단순히 리더 단말의 신호만 릴레이 되는 상황을 고려하였으며 2D 차단 모델 기반으로 성능이 분석되었다는 한계를 가진다. Haiyang 등은 트래픽 요구를 고려한 RSU 배치 방법을 연구하였으며, 전송 지연 감소와 서비스 단말 수 증대 목적을 가진 최적화 모델을 제시하였다^[11]. RSU 기반 릴레이 방안에서는, RSU가 어떤 단말이 전송한 CAM 정보를 릴레이 할지에 따라 성능이 달라질 수 있다. 더불어, 주기적으로 발생하는 새로운 CAM (nCAM)과 함께, RSU에 의해 릴레이 되는 CAM (rCAM)전송을 위한 적절한 자원 할당이 추가적으로 필요하다. 본 레터에서는 고속도로 환경에서 RSU 릴레이를 활용한 커버리지 확장 방안을 제안한다. 특히, RSU를 통해 릴레이 될 단말들 선정 방안을 제안하고 RSU 릴레이를 위한 자원 예약 기법을 적용한다. 보다 정확한 시

* This work was supported by IITP grant funded by the Korea government (MSIT) (2022-0- 00521, Development of 5G-NR-V2X communication technology to support over Lv.4 autonomous driving service).

• First Author : (ORCID:0000-0002-2548-2099) Department of Electrical and Computer Engineering, Inha University, insung237@inha.edu, 학생(석사과정), 학생회원

o Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-0161-013X) Department of Information and Communication Engineering, Inha University, kdk@inha.ac.kr, 정교수, 중신회원

* (ORCID:0000-0002-6218-4971) Department of Electrical and Computer Engineering, Inha University, rhhkdgo321258@inha.edu, 학생(석사과정), 학생회원

논문번호: 202212-290-C-LU, Received December 5, 2022; Revised December 16, 2022; Accepted December 16, 2022

물레이션을 위해 V2X 시뮬레이터인 WilabV2Vsim^[8]을 활용하는데, 기존 2D 차단 모델 대신 칼날 회절 기반의 3D 차단 모델과 NR V2X 모드 2 기반의 RSU 릴레이 기능을 추가로 구현하였다. 이를 통해 도로 길이, 차량 대수가 다른 고속도로 환경에서 제안된 RSU 릴레이 기법의 성능을 비교 분석한다.

II. 시스템 모델

본 레터에서는 4m 도로폭의 양방향 6차선 고속도로를 고려하며, 하나의 RSU에 의해 서비스되는 도로 길이는 400m, 1km 두 경우를 가정하고, 다중 RSU 릴레이는 고려하지 않는다. RSU는 고속도로 중간 지점에 위치하며 도로에서 4m 떨어진 외곽 지점에 위치한다. 모든 차량들은 100ms 주기로 300 bytes 크기의 새로운 CAM (nCAM)을 방송한다. NR V2X 모드 2는 센싱기반으로 자원 할당이 이루어지며, 차량은 RC (Reselection Counter) 횟수 만큼 할당된 자원을 사용한 이후 P_{keep} 의 확률로 자원을 그대로 사용하거나 $1-P_{keep}$ 확률로 새로운 자원할당 과정을 수행한다. 이때, 두대 이상의 차량에게 같은 자원이 할당되는 자원 충돌이 발생할 수 있다. RSU는 NR V2X 모드 2를 적용하며, 직전 100msec 구간에서 발생한 CAM은 다음 번 구간에 릴레이 전송하며, 릴레이 전송된 CAM은 rCAM으로 부른다.

기존 2D 차단 모델은 송수신 차량 사이의 장애물 차량 대수와 6.9dB의 곱으로 장애물에 의한 차단손실 BL을 계산한다. 차량과 RSU의 높이를 고려하는 3D 차단 모델에서는 송신, 수신 차량 입장에서 가장 큰 감쇄를 유발한 장애물 차량을 선별하고, 선별된 장애물 차량들과 송수신 차량 사이의 기하학 매개변수 v_b 를 통해 BL을 계산한다. 이때 v_b 는 송수신 차량들과 장애물 차량들 사이의 높이 차이와 거리를 통해 계산되는 감쇄량의 척도로, v_b 가 클수록 계산되는 BL 또한 커진다. 3D 차단 모델에서의 BL은 수식 1과 같다^[9].

$$BL = 6.9 + 20 \log_{10}[\sqrt{(v_b - 0.1)^2 + 1} + v_b - 0.1] \quad (1)$$

III. 제안하는 RSU 릴레이 방안

RSU 릴레이는 단말의 수신 품질에 대한 단말로부터의 피드백 없이 수행된다고 가정한다. 따라서, RSU는 단말들 간 CAM 수신 성공 여부에 대한 정보 없이 릴레이를 수행한다. 간단하게는 RSU와 단말 사이의

거리가 일정 거리 이하인 단말들을 릴레이하는 방안이 가능하나, 이는 CAM 전송 성공 여부와 무관하여 성능 향상 효과가 크지 않다. 본 레터에서는 SINR (signal-to-interference-plus-noise ratio) 기반의 RSU 릴레이 방안을 제안한다. 제안된 방안에서는 RSU 수신 SINR이 임계값 γ_{th} 보다 낮고, 디코딩에 성공한 차량들을 릴레이 한다. 이때 복수의 차량들이 릴레이되어야 하는데, 기존 센싱 기반의 자원 할당 방법을 그대로 적용하는 경우에는 nCAM 전송과 릴레이 전송되는 rCAM이 더해져서 자원 충돌 확률이 증가하는 문제가 발생한다. 더군다나 RSU는 셀렉션 윈도우마다 임의의 개수의 새로운 자원을 할당하기 때문에, 차량들은 RSU가 사용할 자원을 정확히 알 수 없다. 이에 따라 rCAM과 nCAM의 충돌 확률은 더욱 증가하는데, 이러한 문제는 RSU 릴레이를 위한 자원을 사전 예약함으로써 완화시킬 수 있다. 반면에 RSU 릴레이를 위한 자원을 예약하면 주기적으로 발생하는 nCAM을 위한 자원의 양이 줄어들게 되어 차량 간 자원 충돌 확률은 늘어나게 되는 문제가 있다. 이때, RSU를 위한 자원 예약은 사전에 설정되고, 시스템 정보를 통해 단말들에게 알려진다고 가정한다.

IV. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다. NR V2X는 5.9GHz 대역에서 10MHz 대역폭과 부캐리어 간격 15kHz를 활용하며, NR 뉴머롤로지를 따른다^[11]. QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) 변조와 부호화율 0.57를 가정하여, 수신 성공을 위한 SINR γ_d 는 6.2dB로 설정했다^[8,10]. RSU 릴레이를 위한 자원은 자원 부족에 의한 릴레이 실패가 발생하지 않도록 전체 자원의 40%를 예약한다. RSU 릴레이를 사용하지 않는 경우와 비교하면, nCAM 입장에서는 센싱 기반으로 할당할 수 있는 자원이 60%로 감소하여 자원충돌 확률이 증가될 수 있는 설정이다.

그림 1은 도로 길이가 400m이고 단말 50대, 총 100개의 자원이 할당된 경우 거리 별 PRR 성능을 보여준다. 이때, RSU 릴레이가 없는 경우 전체 자원은 모두 nCAM 전송에 할당되며, 2D 차단 모델과 3D 차단 모델 결과를 비교했다. 제안된 SINR 기반 RSU 릴레이 방법에서는 γ_{th} 가 10, 25 dB인 경우의 결과를 제시한다.

우선 릴레이를 하지 않은 2D 모델의 경우 차단손실이 장애물 차량 수에 비례하기 때문에, 3D 차단 모델과 비교하여 거리에 따른 PRR이 더 급격하게 나빠

진다. 반면에, 3D 차단 모델을 적용한 경우 대부분의 PRR 감소는 자원충돌에 의해 발생하는 것으로 관찰되었으며, 거리와 차단 손실에 의한 패킷 수신 실패는 상대적으로 크지 않았다. 제안된 SINR 기반 RSU 릴레이를 적용한 경우 PRR이 크게 향상되었는데, 이는 자원 충돌이 RSU 수신 SINR을 통해서도 관찰될 수 있고, 자원충돌이 발생한 메시지는 릴레이를 통해 높은 확률로 수신이 성공하기 때문이다. 그러나 여러 대의 차량이 충돌하거나 RSU 수신 SINR이 γ_a 보다 낮은 경우에는 릴레이 되지 못하기 때문에 거리 200m에서 약 96%의 PRR을 보였다. 이때, γ_{th} 를 10dB로 낮춘 경우 RSU와 가까운 차량들이 릴레이 되지 못하는 상황이 되어, γ_{th} 가 25dB인 경우보다 오히려 성능이 좋지 않았다. 또한, γ_{th} 를 35dB로 크게 설정한 경우 더 많은 수의 메시지들이 릴레이 되지만 성능 향상 정도는 미미하였다.

그림 2는 도로 길이를 1km로 변경하고, 도로 길이 증가를 반영하여 단말은 100대, 총 자원의 수는 200으로 증가시킨 경우이다. 2D 차단 모델의 경우 송수신 차량 사이의 장애물 차량 수 증가에 의해 300m 이

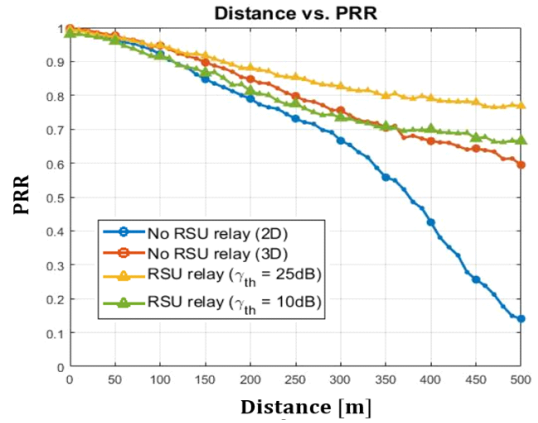


그림 2. 거리 별 PRR (도로 길이 : 1km)
Fig. 2. PRR vs. distance (Road Length: 1km)

상부터 급격하게 PRR이 감소하는 경향이 관찰되었다. SINR 기반 릴레이 방식이 적용된 경우, 도로 길이가 400m 경우에 비해 PRR 향상 정도가 낮아진다. 이는 도로 길이가 1km로 늘어남에 따라 RSU와 차량 사이의 최대 거리가 500m가 되어, 차단손실 증가로 인해 RSU 릴레이가 되지 못하는 차량들이 증가되기 때문이다. 또한, RSU 릴레이 자원 예약에 의해 nCAM 전송을 위한 자원이 감소되어, 자원 충돌 확률이 증가되는 현상도 더 많이 관찰되었다. 현재는 RSU 릴레이를 위한 예약 자원 비율을 고정하였는데, RSU 간격과 서비스 단말의 개수에 따른 보다 효율적인 자원 비율에 대한 연구가 필요함을 알 수 있다. 더불어, 도로 길이가 1km인 경우 제안된 방안을 적용하더라도 PRR 90% 이상을 만족하는 거리가 겨우 150미터에 불과하여 RSU 간격이 충분히 좁게 구축되어야 함을 알 수 있었다.

표 1. 모의실험 매개변수
Table 1. Simulation Parameters

Parameter	Value
Vehicles speed (mean, std)	70 km/h, 7km/h
Vehicle heights	0.75m, 1.6m, 3m
Transmit Power	23 dBm
RSU height	15 m
Resource keep probability	0.4
Reselection Counter	Random [5, 15]

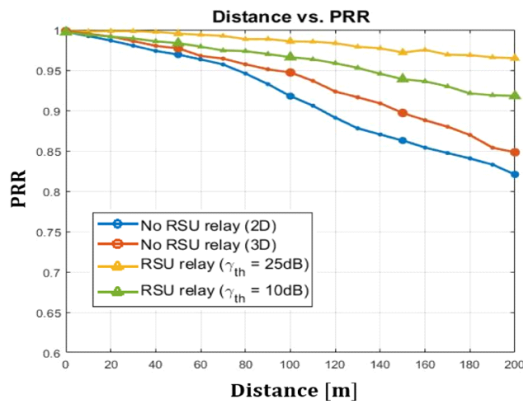


그림 1. 거리 별 PRR (도로 길이 : 400m)
Fig. 1. PRR vs. distance (Road Length: 400m)

V. 결 론

NR V2X 커버리지 확장을 위한 RSU 릴레이 방안으로, SINR 기반의 릴레이 대상 차량 선별 방안과 RSU 릴레이를 위한 자원예약을 제안하였다. 새로운 3D 차단 모델이 구현된 고속도로 환경에서의 시뮬레이션을 통해 RSU 릴레이에 의한 커버리지 확장 정도를 검증하였다. 다중 RSU를 활용한 릴레이 방안, 적응적인 예약자원 할당 방안과 더불어, 비전/센서 정보와 인공지능의 활용, 릴레이에 의한 전송 지연을 줄이기 위한 후속 연구들을 통해 추가적인 성능 향상이 가능하다.

References

- [1] G. M. H. Castañeda, et al., "A tutorial on 5G NR V2X communications," *IEEE Commun. Surv. & Tuts.*, vol. 23, no. 3, pp. 1972-2026, Feb. 2021.
(<https://doi.org/10.1109/COMST.2021.3057017>)
- [2] V. K. Shrivastava, P. Makhija, and R. Raj, "Joint optimization of energy efficiency and scheduling strategies for side-link relay system," in *Proc. IEEE WCNC*, pp. 1-6, San Francisco, USA, May 2017.
(<https://doi.org/10.1109/WCNC.2017.7925661>)
- [3] L. Zipeng, X. Lin, G. Xiaohu, M. Guoqiang, and C. H. Chieh, "Latency and reliability of mmWave multi-hop V2V communications under relay selections," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 69, no. 9, pp. 9807-9821, Sep. 2020.
(<https://doi.org/10.1109/TVT.2020.3002903>)
- [4] 3GPP TR 38.836, *Study on NR sidelink relay*, 2021.
- [5] D. Du, et al., "3D spatial characteristics of C-V2X communication interference," *Electronics*, vol. 8, no. 6, pp. 718-733, Jun. 2019.
(<https://doi.org/10.3390/electronics8060718>)
- [6] M. Noor-A-Rahim, G. G. M. N. Ali, Y. L. Guan, B. Ayalew, P. H. J. Chong, and D. Pesch, "Broadcast performance analysis and improvements of the LTE-V2V autonomous mode at road intersection," *IEEE Tran. Veh. Tech.*, vol. 68, no. 10, pp. 9359-9369, Oct. 2019.
(<https://doi.org/10.1109/TVT.2019.2936799>)
- [7] T. R. Gonçalves, V. S. Varma, and S. E. Elayoubi, "Performance of vehicle platooning under different V2X relaying methods," in *Proc. IEEE PIMRC*, pp. 1018-1023, Sep. 2021.
(<https://doi.org/10.1109/PIMRC50174.2021.9569675>)
- [8] V. Todisco, S. Bartoletti, C. Campolo, A. Molinaro, A. O. Berthet, and A. Bazzi, "Performance analysis of sidelink 5G-V2X mode 2 through an open-source simulator," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 145648-145661, Oct. 2021.
(<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3121151>)
- [9] ITU-R P.526-15, *Propagation by diffraction*, 2019.
- [10] 3GPP TR 36.942, *Radio Frequency(RF) System Scenarios*, 2016.
- [11] Y. Haiyang, L. Runkun, L. Zhiheng, R. Yilong, and J. Han, "An RSU deployment strategy based on traffic demand in vehicular ad hoc networks (VANETs)," *IEEE Internet Things J.*, vol. 9, no. 9, pp. 6496-6505, Sep. 2021.
(<https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3111048>)