

5G C-V2X Sidelink 기반 실시간 영상 전송 성능에 대한 실증 연구

이도건¹, °김민수², 정윤중², 장용재³, 강연호³, 이태양², *최지웅³
한국해양대학교 전자전기정보공학부¹, 대구경북과학기술원 기초학부²,
대구경북과학기술원 전기전자컴퓨터공학과³

Real-Time Video Transmission in 5G C-V2X Sidelink: An Empirical Study

Dogeon Lee¹, °Minsu Kim², Yunjung Jeong², Yongjae Jang³, Yeonho Kang³, Taeyang Lee², *Ji-Woong Choi³

Korea Maritime and Ocean University¹, Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology^{2,3}

Department of Electronics and Electrical Information Engineering¹,

School of Undergraduate Studies²,

Department of Electrical Engineering and Computer Science³

dlehrs3191@g.kmou.ac.kr, {excel2001, ak0147, yj46.jang, dusgh7227, sunny626, jwchoi}@dgist.ac.kr

요 약

본 연구에서는 5G C-V2X(Cellular Vehicle-to-Everything) Sidelink 환경에서 실시간 영상 전송 성능을 분석하기 위해 OBU(On-Board Unit)와 RSU(Road-Side Unit)를 활용한 실증 실험을 수행하였다. MCS(Modulation and Coding Scheme)를 변경하면서 BLER(Block Error Rate)과 평균 Throughput 을 측정하였으며, MCS index 가 높을수록 BLER 이 증가하면서도 Throughput 이 높아지는 Trade-off 관계가 확인되었다. 이를 통해 영상 전송 서비스의 품질 요구사항을 만족하는 BLER 범위 내에서, 주어진 환경에 따라 최적의 Throughput 을 제공하는 MCS 를 선택할 필요가 있음을 확인하였다.

1. 서 론

최근 자율주행과 지능형 교통 시스템(ITS)의 발전으로 V2X 통신이 중요한 기술로 주목받고 있다^[1]. 특히 5G C-V2X Sidelink 기술은 차량 및 인프라 간 직접 통신을 가능하게 하여 실시간 데이터 공유와 안전성 향상에 기여한다. 실시간 영상 전송은 자율주행 차량의 영상 데이터를 Edge 서버로 오프로딩하여 처리 지연을 줄이고 에너지를 효율적으로 관리할 수 있다. 이를 위해 네트워크 환경과 통신 거리에 따른 최적의 MCS 설정이 필요하다^[2].

기존 연구들은 주로 시뮬레이션 기반 분석에 집중되어 있어 실제환경에서의 실증 연구가 부족한 한계가 있다^[2]. 따라서 본 연구에서는 실증 실험을 통해 실시간 영상 전송 서비스의 품질 요구사항인 BLER 을 만족하면서 최적의 Throughput 을 제공하는 MCS 를 분석하고자 한다.

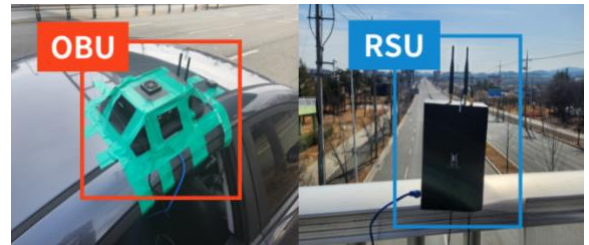
2. 본 론

실험 환경은 그림 1(a)와 같이 OBU 를 차량 지붕에 설치하고, RSU 를 도로변 육교 위에 고정 설치한 후 차량이 주행하면서 데이터를 송수신하는 방식으로 구성되었다. 실험 구간은 그림 1(b)와 같이 대구 테크노폴리스 인근 약 500 m 구간으로, 실시간 영상을 지속적으로 송신하였다. 사용된 장비는 Ettifos 사의 Sirius 장비로 5G C-V2X Sidelink 환경에서 OBU 와 RSU 간 직접 통신을 지원한다.

또한 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 기반으로 SNR(Signal-to-Noise Ratio)을 추정하였으며, SNR 은 수식(1)과 같이 계산된다.

$$SNR = RSSI - Noise\ floor \quad (1)$$

실험 결과, 평균적으로 RSSI 는 -70 dBm 에서 -90 dBm 수준으로 확인되었으며, 일반적으로 5G C-V2X Sidelink 환경에서 Noise Floor 는 약 -100 dBm 수준으로 알려져 있다. 이를 통해 계산된 SNR 은 약 10 dB 에서 30 dB 범위에 해당하며, 실험이 안정적인 신호환경에서 수행되었음을 의미한다. 실험에서 사용된 주요 파라미터 값은 표 1 에 정리되어 있다.



(a) OBU(차량)/RSU(육교 위)



(b) OBU/RSU 배치도

그림 1. OBU, RSU 설치 및 배치도

Parameter	Value
Speed	40 km/h
RF power	20 dBm
SCS	30 kHz
Bandwidth	20 MHz
Carrier Frequency	5.875 GHz
Retransmission Number	2

표 1. 실험 환경 및 고정된 파라미터 설정

본 실험에서는 MCS 변경이 통신 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 OBU 에서 RSU 로 데이터를 송신하며 BLER 와 Throughput 을 측정하였다. 동일한 환경에서 MCS Index 를 4, 10, 16, 24 네 가지 변조 방식을 적용하여 비교 분석을 수행하였으며, 각각 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying), QAM(Quadrature Amplitude Modulation)을 사용하였다. 실험에 사용된 MCS 설정은 표 2 에 정리되어 있다.

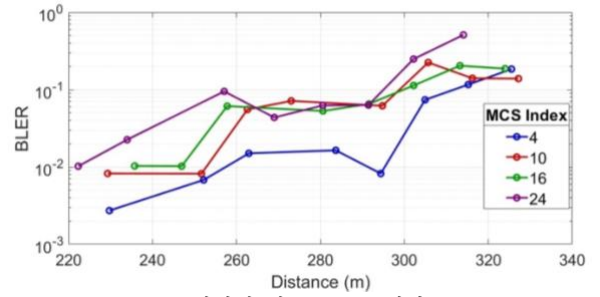
MCS index	Modulation	Code rate
4	QPSK	0.5879
10	16QAM	0.5400
16	64QAM	0.7021
24	256QAM	0.9258

표 2. MCS 매개변수

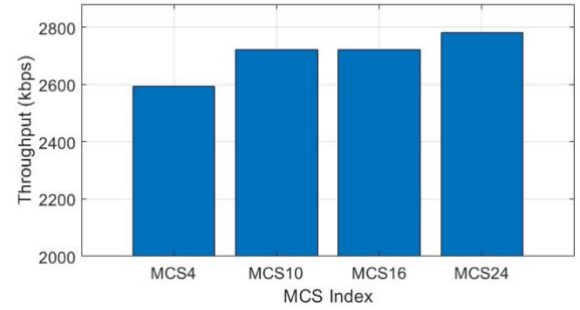
그림 3(a)는 거리 변화에 따른 BLER 의 경향성을 나타낸다. 본 그래프는 220m 이하에서 BLER 이 거의 발생하지 않았고, 340m 이후로 일부 MCS 의 통신이 단절되었기 때문에 220~340m 구간의 데이터를 기준으로 작성되었다. 변조 방식이 높은 MCS 24 는 높은 code rate 와 큰 TBS(Transport Block Size)로 인해 이론적으로 높은 Throughput 을 제공하지만, 심볼 간격이 좁아 오류에 취약하다. 따라서 거리 증가로 SNR 이 낮아지면 BLER 이 급격히 상승하여 가장 빠르게 통신이 단절된 것으로 해석된다. 반면 낮은 변조 방식의 MCS 4 는 비교적 먼 거리까지 통신이 유지되었지만, Throughput 이 낮아 통신 품질을 보장하기 어렵다. 또한 MCS 10 과 MCS 16 은 전체 거리 구간에서 상대적으로 안정적인 BLER 성능을 나타냈다.

그림 3(b)는 MCS 별 평균 Throughput 을 나타낸다. 해당 결과는 BLER 측정에 사용된 거리 구간을 기준으로 계산한 평균값이다. MCS 24 가 가장 높은 Throughput 을 기록하였고, MCS 10 과 MCS 16 은 이보다 다소 낮은 수준의 Throughput 을 보였다. MCS 4 는 가장 낮은 Throughput 을 나타냈으며, 이는 변조 방식이 낮아 데이터 전송 속도가 제한된 결과로 해석된다.

위 결과를 통해 MCS 에 따라 BLER 과 Throughput 의 경향이 상이하며, 변조 방식에 따라 영상 전송 성능이 달라질 수 있음을 확인하였다. 특히, 거리 변화에 따라 변조 방식 간 BLER 차이가 달라지는 양상도 관찰되었다. 따라서 MCS 선택 시 Throughput 뿐만 아니라 BLER 특성과 거리 조건을 함께 고려할 필요가 있음을 실험을 통해 확인하였다.



(a) 거리에 따른 BLER 변화



(b) MCS index 에 따른 평균 Throughput

그림 3. 분석 결과

3. 결론

본 논문에서는 5G C-V2X Sidelink 환경에서 OBU 와 RSU 간의 V2I(Vehicle-to-Infrastructure) 통신을 활용하여 실시간 영상 전송 성능을 실증적으로 분석하였다. 실험 결과, 변조 방식이 높을수록 평균 Throughput 은 증가하지만 BLER 도 함께 증가하는 Trade-off 관계가 나타났으며, 통신 거리가 증가할수록 변조 방식에 따른 BLER 의 차이가 불분명해지는 경향을 확인하였다. 따라서 허용 가능한 BLER 범위 내에서 변화하는 통신 환경에 따라 최적의 Throughput 을 제공하는 MCS 를 선택할 필요가 있다. 또한 향후 연구에서는 V2V(Vehicle-to-Vehicle) 통신 환경에서의 성능 분석을 진행할 예정이다.

4. 참고 문헌

[1] S. Choi, D. Kwon and J.-W. Choi, "Latency Analysis for Real-Time Sensor Sharing Using 4G/5G C-V2X Uu Interfaces," IEEE Access, vol. 11, pp. 35197-35206, 2023.

[2] V. Todisco et al., "Performance Analysis of Sidelink 5G-V2X Mode 2 Through an Open-Source Simulator," IEEE Access, vol. 9, pp. 145648-145661, 2021.

5. 기타

본 논문은 2025 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획 평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2024-00442085, 자율주행 차량 서비스 보호를 위한 V2X 무선통신 인프라 보안 핵심기술 개발, No. RS-2024-00398157, AI-Native 응용서비스 지원 6G 시스템 기술개발).