

대규모 다중 모달리티 센싱 기반 V2X 차량용 통신 기법

김현수, 정석현, 심병호
서울대학교

{hskim, shjeong}@islab.snu.ac.kr, bshim@snu.ac.kr

Large Multi-modality Model-based V2X Communication Systems

Hyunsoo Kim, Seokhyun Jeong, and Byonghyo Shim
Seoul National University

요약

5G NR 및 6G에서는 V2X(Vehicle-to-Everything) 통신이 중요한 기술로 주목받고 있다. 본 논문에서는 트래픽 관리와 같은 V2X 작업에 대규모 다중 모달리티 모델(LMM)을 사용하는 새로운 작업 지향 통신(ToC) 접근 방식을 제안한다. 제안된 MMToC의 핵심 아이디어는 다양한 센싱 데이터에서 차량 작업과 관련된 필수 정보를 추출하고, 정보를 통합하며, LMM 모델을 이용하여 차량 작업의 출력을 추론하는 것이다. MMToC는 차량 작업에 필요한 필수 특징 벡터만을 교환함으로써 통신 오버헤드를 줄이고 작업 성능을 향상시킬 수 있다.

I. 서론

최근 지능형 교통 시스템(ITS)의 급속한 성장으로 우리는 많은 수의 차량 애플리케이션(예: 차량 군집 주행 및 자율 주행)을 지원하기 위한 vehicle-to-everything(V2X) 통신이 큰 주목을 받고 있다. V2X 통신은 교통 신호 및 센서를 포함한 다양한 인프라 구성 요소와 차량이 서로 원활하게 상호 작용할 수 있도록 하는 ITS의 핵심 요소이다. V2X 시스템에서는 차량 간 센서 정보의 신속하고 정확한 전달이 무엇보다 중요하다. 따라서, V2X 시스템의 서비스 품질(quality of service; QoS)을 보장하기 위해서는 낮은 지연 시간 및 높은 신뢰성 통신이 매우 중요하다.

수년에 걸쳐 V2X 기술은 도로 안전 및 효율성을 향상시키기 위해 다양한 차량 응용 분야에 대해 개발되었다. [1]에서는 자율주행을 위해 협력 센싱을 이용한 V2X 통신이 제안된 바 있다. [2]에서는 연결된 다중 차량 시스템을 위한 군집 제어 기법이 제안되었다. 이러한 논문의 기본 가정은 도로 측면 장치(RSU)가 차량, 보행자 및 장애물을 포함한 도로 환경의 모든 구성 요소에 대한 정보를 정확하게 얻을 수 있다는 것이다. 그러나 실제 V2X 시스템에서는 채널 용량(Shannon capacity) 제한과 센서 노이즈로 인해 도로 환경에 대한 완벽한 센싱 정보를 얻기가 어렵다. 예를 들어, 차량에서 생성된 감지 데이터가 RSU로 전송되는 시나리오에서, 레이더 및 라이다 센서의 입력을 포함하여 자율 주행 차량 한 대에서 생성된 데이터는 463Mbps에 이른다. 즉 차량 43대만 모여도 5G NR(즉, 20Gbps)의 피크 데이터 속도를 크게 초과하는 문제점이 있다.

본 논문의 주요 목표는 V2X 작업을 위해 Large multi-modal 모델을 사용한 새로운 작업 지향 통신(task-oriented communications; ToC)을 개발하는 것이다. ToC는 RGB 카메라, IMU(관성 측정 장치),

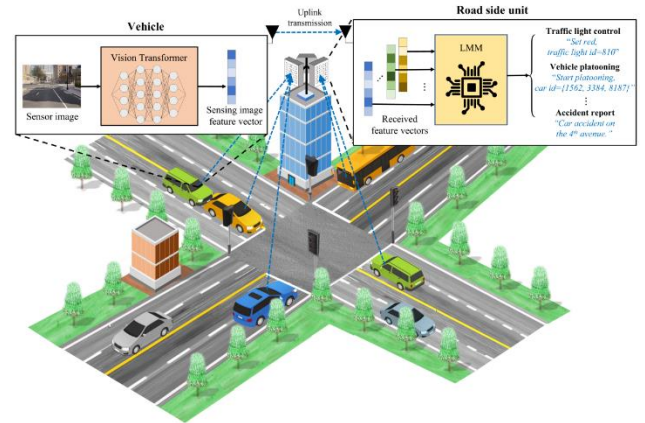


그림 1. V2X 작업을 위한 Large multi-modal 모델을 사용한 새로운 작업 지향 통신

LiDAR, 레이더와 같은 센싱 정보로부터 특정 작업에 대한 정보 전송 및 인코딩 방법을 최적화하도록 설계된 딥러닝 기반의 통신 시스템이다. ToC의 핵심 아이디어는 초당 비트 수 및 오류율과 같은 채널 패러다임의 전통적인 비트 수준 메트릭에 초점을 맞추는 것이 아니라 ToC의 정보 교환에서 작업 효율성과 성능을 향상시키는 것이다. 구체적으로, 제안하는 기법에서 차량은 전체 데이터를 전송하고 정보 구조를 무시하는 대신 차량 작업에 필요한 추출된 특징 벡터(예: 교통 제어, 차량 군집 주행 및 사고 보고)를 도로 측 장치로 전송한다. 그렇게 함으로써, ToC는 통신 오버헤드를 감소시키고 작업 효율성 및 성능을 향상시킬 수 있다.

II. 본론

MMToC의 주요 목표는 실제 시나리오에서 특정 작업의 성능을 극대화하는 다중 양식 기반 V2X 통신 시스템을 설계하는 것이다. 이를 위해 MMToC는 다중

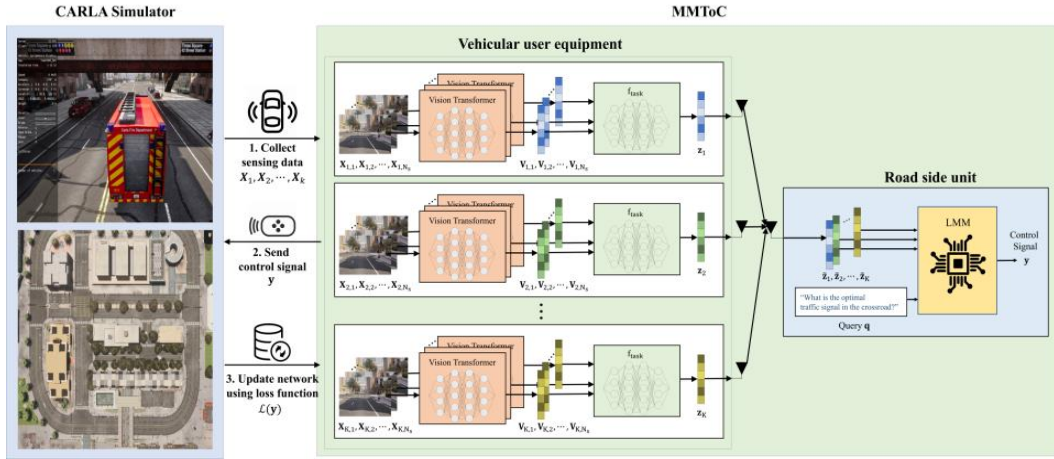


그림 2. Large multi-modal 모델을 사용한 새로운 작업 지향 통신 시스템 구조

모드 입력을 받고 쿼리로 여러 추론 작업을 수행할 수 있는 LMM을 활용한다. LMM은 텍스트 형태의 데이터만 이해하는 대형 언어모델(LLM)을 넘어 인공지능(AI) 분야에서 큰 성공을 거두며 가능성의 지평을 넓혔다. LMM은 LLM의 기능을 확장하여 다양한 센싱 데이터를 포괄하여 텍스트와 센서 데이터를 통합 임베딩 공간으로 통합한다. 우리의 MMToC에서 이러한 통합은 차량 환경에 대한 이해를 가능하게 하여 차량 task의 성능을 크게 향상시킬 수 있다.

VUE 송신부- 센싱 데이터 증류에서 VUE는 멀티모달 센싱 데이터로부터 태스크 지향 특징 벡터를 추출한다. V2X 통신 시스템에서 RSU는 K개의 VUE를 지원하며, 여기서 각 VUE에는 N_s 센서가 장착된다. 증류 함수 f_{dist} 는 ViT 사전 훈련된 비전 인코더 f_{ViT} 와 작업별 추출 함수 f_{task} 의 두 가지 함수로 구성되며, 다음과 같이 표현된다

$$\mathbf{z}_k = f_{\text{dist}}(\{S_{k,i}\}_{i=1}^{N_s}) = f_{\text{task}}(f_{\text{ViT}}(\{S_{k,i}\}_{i=1}^{N_s}))$$

여기서 $S_{k,i}$ 는 센싱 데이터 행렬, N_s 는 각 VUE에 s.

RSU 수신부- RSU의 태스크 실행 과정에서는 입력 LMM 모델을 기반으로 RSU는 \mathbf{z}_k 로 표현되는 태스크별 특징을 사용하여 태스크 출력을 추론한다. RSU는 "교차로에서의 최적 교통 신호는 무엇인가?"와 같은 태스크 쿼리를 자연어로 공식화하고 이를 쿼리 임베딩 토큰 \mathbf{q} 로 변환한다. 마지막으로, f_{LMM} 으로 표현되는 V2X 태스크 실행 모델은 RSU 내에서 태스크를 실행하기 위한 제어 신호 y 를 결정하는 데 사용된다. 이 프로세스에 대한 공식은 다음과 같이 표현된다.

$$y = f_{\text{LMM}}(\{\mathbf{z}_k\}_{k=1}^K, \mathbf{q}; \Phi)$$

여기서 Φ 는 V2X 작업 실행을 위해 훈련된 모델 매개변수이다.

III. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 MMToC의 예시로 교차로 신호 제어 task를 수행하였다. LMM에 필요한 학습 데이터(VUE 측에서 촬영한 이미지, 무선 채널, 차량 속도 등)는 CARLA 시뮬레이터를 이용하여 생성하였다.

그림 3은 신호대 잡음비에 따른 차량 속도를 비교한 그래프이다. 제안한 MMToC는 센싱 데이터를 이용하여

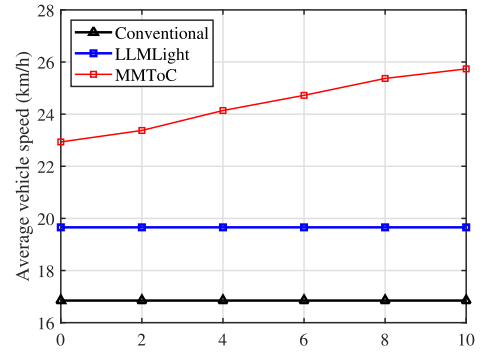


그림 3. 교차로 신호제어 task에서 신호대 잡음비에 따른 차량 속도

차량 환경을 파악하고, 적절한 교통신호 제어를 하기 때문에, 수신 SNR이 증가할수록, 평균 차량 속도가 증가한 것을 볼 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 V2X 작업을 위해 large multi-modal 모델을 사용한 새로운 작업 지향 통신을 제안했다. 핵심 아이디어는 차량 작업에 필요한 추출된 특징 벡터를 RSU로 전송하고, RSU에서 LMM을 이용하여 차량 task를 수행하는 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021-0-00972, (세부 2) 지능형 무선 액세스 기술 개발)

참고 문헌

[1] R. Molina-Masegosa and J. Gozalvez, "LTE-V for sidelink 5G V2X vehicular communications: A new 5G technology for short-range vehicle-to-everything communications," IEEE Veh. Technol. Mag., vol. 12, no. 4, pp. 30-39, 2017.

[2] L. Hobert, A. Festag, I. Llatser, L. Altomare, F. Visintainer, and A. Kovacs, "Enhancements of V2X communication in support of cooperative autonomous

driving," IEEE communications magazine, vol. 53, no. 12, pp. 64-70, 2015.

- [3] Y. Li, W. Chen, S. Peeta, and Y. Wang, "Platoon control of connected multi-vehicle systems under V2X communications: Design and experiments," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 21, no. 5, pp. 1891-1902, 2019.