

저전력 근거리 통신을 활용한 ITS 환경에서의 V2V 최단 경로 탐색 및 연결 전략 분석

김형진, 김민수, 김현범*

인천대학교 임베디드시스템공학과

ky9424000inu.ac.kr, rlaalstn19@inu.ac.kr *hyunbumkim@ieee.org

*교신저자(corresponding author)

Analysis of V2V Shortest Path Search and Connection Strategies in ITS Environment Using Low-Power Short-Range Communication

Hyeongjin Kim, Minsoo Kim, Hyunbum Kim*

Dept. of Embedded System Engineering, Incheon National University

요약

본 논문은 지능형 교통 시스템(ITS) 환경에서 저전력 통신(BLE, 저전력 Wi-Fi 등)을 활용한 차량 간 통신(V2V) 연결 전략을 시뮬레이션하고 그 성능을 분석한다. 도로 차선 수, 차량 밀도, 최대 연결 가능한 차량 수 등 다양한 변수에 따라 V2V 네트워크의 성능을 평가하며, Start Point에서 End Point까지 데이터를 최단 경로로 전송하는 동안 얼마나 많은 차량을 경유하고, 발생하는 통신 거리와 경로 탐색의 성공률을 분석한다. 이를 통해 통신 기회비용 대비 최적의 연결 수를 추정하고, V2V 네트워크에서의 경로 탐색 실패 비율을 최소화하여 데이터를 안정적으로 전송할 수 있는 조건을 파악한다. 최종적으로, ITS 환경에서 저전력 통신을 사용하는 효율적인 V2V 연결 전략을 제시한다.

I. 서론

지능형 교통 시스템(ITS)의 발전으로 차량 간 통신(V2V)기술은 교통관리와 자율주행 구현에 있어 중요성이 커지고 있다. ITS는 차량 간, 그리고 차량과 인프라 간의 실시간 데이터 교환으로 교통 흐름을 유동적으로 조절하고, 사고 예방 및 차량제어를 가능하게 하는 핵심 기술로 자리 잡고 있다. 특히, 고도화된 자율주행 기술이 완벽하게 구현되기 위해선 자율주행차량 자체의 센서 융합(Sensor Fusion), 비전 인식(Vision Recognition) 등의 성능뿐만 아니라 ITS와의 원활한 통합이 필수적이다.[1] 이러한 통합(connected car)을 통해 보다 안전하고 효과적인 교통 환경 조성을 실현할 수 있다. 특히 V2V통신은 ITS와 자율주행의 상호보완적 발전을 뒷받침하는 필수적 요소이다

이러한 발전을 가능하게 하는 핵심 기술 중 하나는 V2V 통신을 위한 다양한 통신 모듈과 프로토콜이다. Dedicated Short Range Communication (DSRC)는 빠른 반응 속도와 높은 신뢰성을 제공하지만, 통신 범위가 제한적이며 별도의 인프라 구축이 필요하다. 반면, Cellular V2X (C-V2X)는 기존 셀룰러 네트워크를 활용하여 더 넓은 통신 범위를 제공할 수 있지만, 통신 지연이 발생할 수 있으며 데이터 전송 비용이 높아질 수 있다. 이러한 통신 모듈과 프로토콜은 V2V 통신이 ITS 환경에 적용될 때 반드시 고려해야 할 중요한 요소이다[2]. 이와 대비되는 저전력 통신 모듈인 Bluetooth Low Energy (BLE)와 저전력 Wi-Fi는 추가적인 인프라 구축 없이도 차량 간 실시간 통신을 가능하게 한다는 장점을 지닌다. 이들 모듈은 에너지 효율성이 뛰어나면서도 이미 많은 차량에 내장되어 있어 사고 예방이나 교통 상황 파악과 같은 V2V 통신 목적에 유용하게 활용될 수 있다. 다만, 통신 범위가 제한적이기 때문에 차량 간 충분한 연결을 보장하기 위한 최적의 연결 전략이 필수적이다. 제한된 통신 환경에서도 데이터를 빠르고 효율적으로 주고받기 위한 연결 전략을 모색하는 것은, 저전력 통신 기반 V2V 네트워크의 성능을 극대화하는 핵심 과제가 된다.

따라서 본 연구는 제한된 통신 환경에서도 Start Point에서 End Point까지 최단 경로로 데이터를 전송할 때, 평균적으로 필요한 차량 간 통신의 수와 주변 차량과의 연결 정도를 시뮬레이션하고, 효율적인 저전력 근거리 V2V 연결 전략을 모색하는 것을 목적으로 한다. 또한 V2V 통신 네트

워크 구축 이후에 최단경로 연결 실패 비율을 분석함으로써 데이터 전송을 위한 최소한의 연결을 보장하기 위한 연결 회수를 분석하고 제안한다.

II. 본론

본론에서는 시뮬레이션의 환경 설정과 결과에 대한 분석을 제시한다.

항목	값	설명
도로 차선	2~8	시뮬레이션에서 사용된 도로의 차선
도로 길이	100(m)	차량이 이동하는 도로의 길이
차량 수	차선*10	차선 당 10대의 차량 배치
V2V연결 수	3~10	차량 당 최대 연결 가능한 V2V 연결 수
통신 범위	20(m)	차량 간 통신 가능한 최대 범위
반복횟수	50회	통계적 신뢰성을 위한 시뮬레이션 반복회수

표 1. 시뮬레이션 변수 설정 및 정의

위 표는 시뮬레이션의 주요 변수와 설정 값을 요약한 것으로, 도로 차선 수, 차량 수, V2V 연결 수, 통신 범위 등을 정의하고 있다.

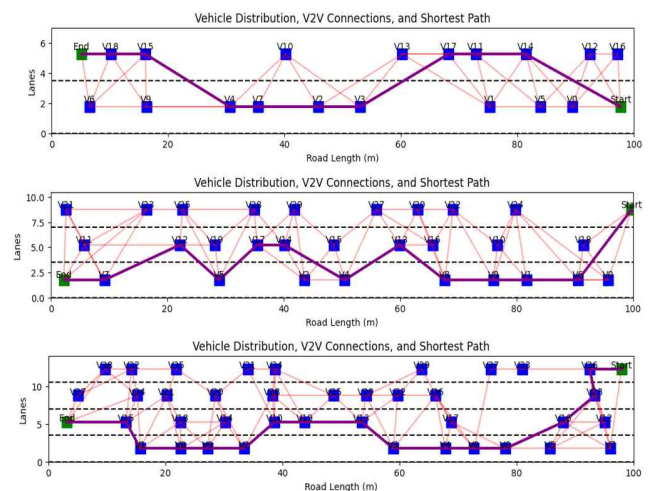


그림 1 도로 상의 차량 분포, V2V 연결, 및 최단 경로 시각화.

위 그림은 차량 분포, V2V 연결망, 그리고 최단 경로에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 각각 2차선, 3차선, 4차선에서 차량들이 어떻게 분포되

고, V2V 연결이 형성되는지를 시각화한 것이다. 우측의 초록색 차량은 데이터를 보내는 Start Point, 좌측의 초록색 차량은 데이터를 받는 End Point로 설정되었다. 파란색 사각형은 도로 위에 배치된 차량을, 빨간색 선은 차량 간 V2V 통신 연결을, 보라색 선은 Start Point와 End Point 간의 최단 경로를 나타낸다. 각 차선에서 통신 범위 내 차량들이 양방향으로 연결되며, 최단 경로는 가장 적은 차량을 거쳐 데이터를 전송하는 경로로 선택된다. 이를 통해 다양한 차선 환경에서 효율적인 데이터 전송 경로가 어떻게 형성되는지 알 수 있다.

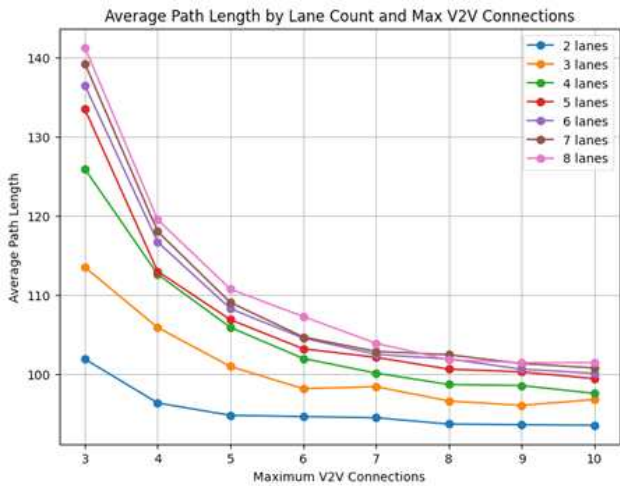


그림 2. 차선 수와 최대 V2V 연결 수에 따른 평균 경로 길이.

위 그림은 차선 수와 최대 V2V 연결 수에 따른 평균 경로 길이를 보여준다. 최대 V2V 연결 수가 3회일 때는 차선 수가 많아질수록 경로 길이가 길어지며, 특히 8차선에서는 약 140m에 이른다. 그러나 5~6회 연결부터는 경로 길이가 급격히 줄어들고 안정화되며, 차선 수가 많을수록 V2V 연결이 충분히 확보될 때 경로가 짧아진다. 6~8차선에서도 연결 수가 7회 이상이면 경로 길이가 도로의 실제 길이 수준으로 안정되며, 2~3차선의 경우 연결 수가 적어도 경로가 짧게 형성된다.

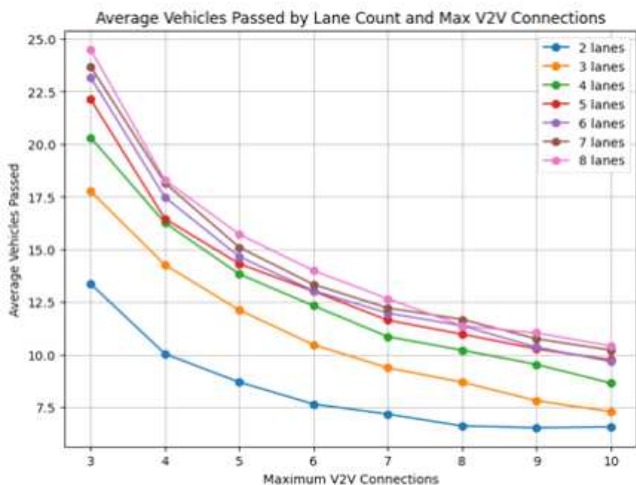


그림 3. 차선 수와 최대 V2V 연결에 따른 평균 통과 차량 수.

위 그림은 차선 수와 최대 V2V 연결 수에 따른 평균 통과 차량 수를 보여준다. 최대 V2V 연결 수가 3회일 때는 모든 차선에서 경로에 참여하는 차량 수가 많았으나, 연결 수가 증가할수록 경유하는 차량 수는 급격히 감소했다. 특히 5회 연결부터는 차선 수에 관계없이 경로에 참여하는 차량 수가 크게 줄어들며, 10회 연결에서는 2차선의 경우 약 7.5대, 8차선의 경우 약 10대의 차량만이 경유했다.

이는 연결 수가 증가할수록 경로가 최적화되어 더 적은 차량이 데이터

전송에 참여하게 됨을 의미하며, 최소 5회 이상의 V2V 연결이 효율적인 데이터 전송 경로 형성에 중요한 역할을 한다는 것을 확인할 수 있다.

Connection Failure Rate (Path Not Found) by Lane Count and Max V2V Connections

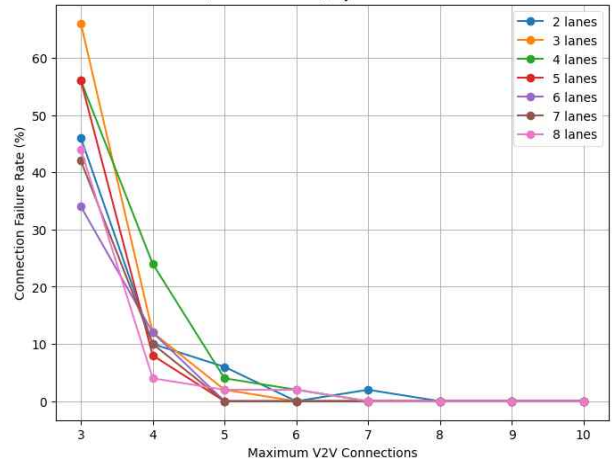


그림 4. 차선 수와 최대 V2V 연결 수에 따른 경로 탐색 실패율.

위 그림은 차선 수와 최대 V2V 연결 수에 따른 경로 탐색 실패율을 보여준다. 최대 V2V 연결 수가 3~4회일 때는 실패율이 높았으나, 5회 연결부터 급격히 감소해 10% 이하로 줄었고, 6회 이상에서는 거의 모든 차선에서 0에 가까워졌다. 차선 수가 적을수록 차량 밀도가 낮아 실패율이 높았으나, 차선 수가 많아지면 연결이 많아져 실패율이 빠르게 감소했다. 5회 이상의 V2V 연결이 안정적인 데이터 전송과 경로 탐색 실패율 감소에 중요함을 확인할 수 있다.

III. 결론

본 연구는 ITS 환경에서 저전력 통신을 활용한 근거리 V2V 통신의 효율적인 연결 전략을 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 제한된 통신 범위 내에서 차량 간 데이터를 최단 경로로 전송하기 위해서는 평균적으로 6회 이상의 연결에서 최적의 통과 차량 수를 보였으며, 최단 경로 데이터 전송은 7회 연결에서 가장 좋은 성능을 나타냈다. 또한, 차량 간의 연결이 충분하지 않으면 데이터 전송이 원활하지 않으며, 최소 5회 이상의 연결이 있을 때 데이터 전송 실패 확률이 크게 줄어드는 것을 확인할 수 있었다. 결과적으로, 차량 간 연결 수를 5~7회로 최적화하면 통신의 기회비용을 절감하면서도 데이터 전송의 성공률을 높일 수 있다. 더불어, 저비용으로 기존 차량 내 센서를 활용하여 사고 예방과 교통 관리의 효율성을 높일 수 있을 것이다. 향후 연구에서는 실제 교통 모델을 기반으로 각 통신 모듈의 기회비용을 엄밀히 분석하여 개선된 V2V 네트워크 구축 방안을 모색할 필요가 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 학석사연계 ICT 핵심인재양성사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2024-RS-2024-00437 024)

참고 문헌

- [1] C. Liu, C. -W. Lin, S. Shirraishi and M. Tomizuka, "Improving Efficiency of Autonomous Vehicles by V2V Communication," *2018 Annual American Control Conference (ACC)*, Milwaukee, WI, USA, 2018, pp. 4778-4783
- [2] K. Abboud, H. A. Omar and W. Zhuang, "Interworking of DSRC and Cellular Network Technologies for V2X Communications: A Survey," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 65, no. 12, pp. 9457-9470, Dec. 2016