

# C-V2X 차량의 분산 경로 계획을 위한 통신 신뢰성 기반 A-Star 알고리즘

권순범, 조한신

한양대학교

ksb33174@hanyang.ac.kr, hsjo23@hanyang.ac.kr

## Communication Reliability-Aware A-Star algorithm for Distributed Route Planning in C-V2X Vehicles

Sun-Beom Kwon, Han-Shin Jo

Hanyang Univ.

### 요약

Vehicle to Everything (V2X) 환경에서, 차량의 밀도가 높아짐에 따라서 Packet Delivery Ratio (PDR)이 낮아짐은 자명한 사실이다. 본 논문은 거리를 기반으로 최단 경로를 파악하는 A-star 알고리즘의 휴리스틱 함수에 통신 파라미터를 넣어서 통신의 혼잡도에 따라서 정체구역을 파악하여 차량의 경로를 주기적으로 재 탐색하였고, 차량의 경로를 분산시켰다. 본 논문은 커넥티드카의 안정적인 제어를 위하여 통신 신뢰도를 개선하는 방법을 고안하였고, 이를 트래픽 시뮬레이터인 Simulation of Urban Mobility (SUMO) 환경에서 구현하여 분산된 차량들이 통신 신뢰도에 끼치는 영향을 분석한다. 그 결과, 차량의 분산도에 따라서 통신 신뢰도가 향상되는 결과를 확인하였다.

### I. 서론

Vehicle to Everything (V2X)는 vision 기반 센서를 통한 자율주행보다 인지 범위가 넓다는 점에서 장점을 갖는다. 차량통신의 신뢰성을 확보하는 것은 안정적인 차량 제어에 있어서 필수적인 요소이다. 고밀도의 차량들이 동시에 특정구역 내에 진입 시, 통신단의 성능은 열화 된다. 이 문제를 해결하고자 본 논문은 휴리스틱 함수를 이용하여 물리적으로 차량들을 분산시켰고 이때의 통신단의 성능이 어떻게 나타나는지 관찰하였다.

도심환경에서 차량들이 높은 밀도로 자율 주행하는 실험 환경을 구축하기 위한 시뮬레이터로 Simulation of Urban Mobility (SUMO)를 사용하였다. 실제 환경을 모사한 지도를 사용하고자 하는 이용자는 OpenStreetMap (OSM) Wizard를 통해서 현실환경의 지도를 빌드할 수 있고, 편집기를 이용해서 편집하는 것도 가능하다. 또한, SUMO는 Traffic Control Interface (Traci) 플러그인을 통해서 MATLAB, Python과 같은 외부 프로그램과 데이터를 주고받음으로써, 시뮬레이터에서 주행중인 여러 차량의 데이터를 얻을 수 있다[1].

본 논문에서는, 차량의 밀도와 통신 품질의 관계성을 분석하고, 혼잡한 구역을 피하여 최소 비용으로 경로를 탐색하는 알고리즘인 A-star를 소개하며, Road Side Unit (RSU)를 통해서 혼잡도를 계산하고 지도의 정체구역을 파악한다. 이

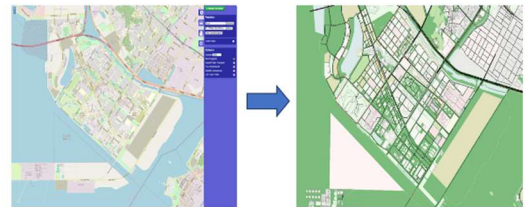


그림 1. OSM Wizard로 불러온 송도 지역 지도 정보를 바탕으로 Ego차량들은 유동적으로 변하는 도로 환경을 주기적으로 재 탐색한다. 이를 통해 차량의 경로를 분산시켜서 부수적으로 따라오는 자율주행 차량들의 통신 품질 향상여부를 관찰한다.

### II. 시뮬레이션 환경

실험 환경을 구축하기 위해서, 그림 1과 같이 인천광역시 연수구 송도동 일대의 지도 정보를 불러온 뒤, 불필요한 구조물들을 제거한 후, 시뮬레이션을 진행하였다. Traci를 활용해서 SUMO와 MATLAB을 연동한 후, SUMO의 차량에서 오는 정보들을 받고, MATLAB을 통해서 차량을 제어하였다.

RSU는 각 교차로의 정중앙에 위치하며, 해당 좌표를 도로구조물을 정의한 add.xml에 정의하였다. 도로망의 정보를 나타내는 net.xml파일에 교차로는 junction, 도로는 edge로 입력 되어있다. Junction, Edge태그를 읽어오고 Figure

Ego차량의 수	2000대
actor차량의 수	500대
재 탐색 주기	10step
CommRadius	50m

표 1. 시물레이션 파라미터

창에 도로망을 그린 다음, 사용자는 출발, 목적지를 선택한다. Actor 차량은 rou.xml 파일에 정의되어 있으며, SUMO에서 제공하는 randomTrips 기능을 통해서 경로를 지정하였다. 시물레이션 시작시에 일정 수준 이상의 차량 수를 유지하기 위하여 actor 차량의 생성 시점은 1step time으로 통일하였다. Figure창에 혼잡구역을 드래그로 선택하면, 해당 부분에 다수의 차량이 추가로 생성 된다. 선택한 구역에 생성된 actor 차량은 선택된 범위 안에서 시물레이션 스텝이 끝날 때까지 주행한다.

본 실험의 RSU는 각 교차로의 중앙에 배치되어 있다. CommRadius 범위 내의 차량과 통신을 한다고 가정하였으며, 각 RSU의 범위 안에서 성공적으로 패킷이 전달된 비율을 파악하기 위해서 해당 범위내의 차량의 밀도를 산출하여, 밀도별 Packet Delivery Ratio (PDR)을 적용하여 혼잡도를 계산한다. RSU는 수신한 정보를 통해서 도로 전체의 교통 상황을 업데이트 한다. WiLabV2Xsim시물레이터의 Line-of-Sight (LOS)를 상정해서 제작한 시나리오에서 차량의 밀도별 PDR을 구하고, 이때의 값을 휴리스틱 함수에 대입하였다[2].

### III. A-star 알고리즘

A-star 알고리즘은 기존 다익스트라 (Dijkstra) 알고리즘에서, 휴리스틱 함수를 추가하여 효율적으로 경로를 탐색하도록 하는 알고리즘이다. 본 실험에서는, 목적지까지의 거리와 통신단의 성능을 함께 반영한 휴리스틱 함수를 제안한다.  $n$ 이 지도 상의 노드,  $e$ 는 도로 (edge)일 때, step별 평가함수  $f(n)$ 은 식(1)과 같이 계산된다.

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (1)$$

$h(n)$ 을 0으로 두면 다익스트라 알고리즘과 동일하게 작동하게 된다. 누적 비용  $g(n)$ 은 현재까지 주행한 거리를 나타낸다. 현재까지의 이동 비용  $g(n)$ 은 식(2), (3)과 같이 기본 혼잡도  $C_{base}(e)$ 와 PDR기반 페널티  $C_{PDR}(e)$ ,  $C_{overlap}(e)$ 를 더해서 구해진다.

$$c(e) = C_{base}(e) + C_{PDR}(e) + C_{overlap}(e) \quad (2)$$

$$g(n) = \sum_{e \in \text{path to destination}} c(e) \quad (3)$$

휴리스틱 함수  $h(n)$ 은 식 (4)과 같이 정의된다. 목적지  $goal$ 까지 남은 거리  $d(n, goal)$ 와 통신 실패에 대한 페널티 계수  $\beta$ , 통신품질에 대한 가중치  $\lambda$ 를 곱한 값을 더하여 구할 수 있다.

$$h(n) = d(n, goal) + \lambda \times \beta(1 - PDR(e_n)) \quad (4)$$

경로 중첩 허용 페널티  $C_{overlap}(e)$ 에 따라서, edge주행시 드는 비용이 증가하며, 많은 중복이 일어날 시, 해당 경로를 주행하는 비용이 크게 증가하게 되

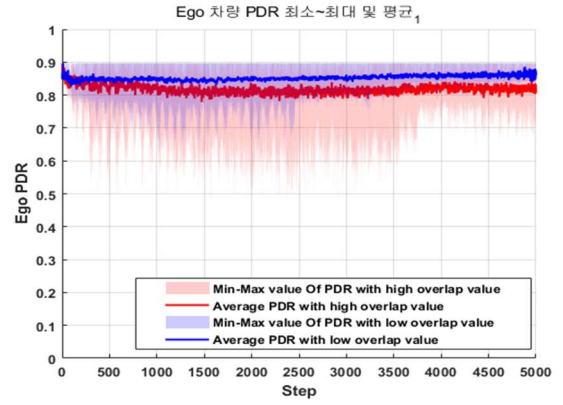


그림 2. 시물레이션 결과

로, 비용함수가 해당 노드를 피해 가게끔 설계하였다.

### IV. 실험 결과

그림 2는 2000대의 Ego차량이 혼잡구역을 회피하여 분산주행을 하였을 때, 전체적인 PDR의 값을 나타낸 것이다. 높은 overlap value ( $C_{overlap}(e)$ )를 갖고 주행한 차량들은 다른 차량과 겹치는 경로가 많음에도 페널티를 적게 받았지만, 차량들이 밀집된 구역에 빠지게 되었으므로, PDR의 최소값이 상대적으로 낮게 도출되었다. 또한, 평균 PDR도 상대적으로 낮게 도출되어, 전체적인 차량들의 통신 안정도가 낮음을 알 수 있다.

낮은 overlap value ( $C_{overlap}(e)$ )를 갖는 차량들은 중첩을 상대적으로 덜 허용하므로, 상대적으로 낮은 중첩도에도 높은 페널티를 받아서, 앞서 먼저 출발한 Ego차량들이 주행한 경로를 최대한 회피하였다. 그 결과, 차량이 전체적으로 분산된 경로를 갖게 되었고, 이에 따라서 필드의 모든 차량의 PDR이 향상되었다.

### V. 결론

본 연구에서는 PDR을 통해서 도로 네트워크의 혼잡도를 파악하고, Ego차량을 분산시켜서 주행하였다. 본 논문에서 제안한 신뢰도 기반 A-star 알고리즘이 올바르게 작동하였음을 확인하였으며, 추후 다른 통신 파라미터와 교통공학을 반영한 구체적인 이론을 추가하여 고도화된 휴리스틱 함수에 대한 후속연구에 기여할 것으로 예상된다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 정부 (산업통상자원부)의 재원으로 한국 산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임 (P0020536, 2025년 산업혁신인재성장지원사업) 또한 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2024-00346319).

### 참 고 문 헌

- [1] Simulation of Urban Mobility (SUMO), <https://sumo.dlr.de/>
- [2] V. Todisco, S. Bartoletti, C. Campolo, A. Molinaro, A. Molinaro, A. O. Berthet, and A. Bazzi, "Performance analysis of sidelink 5G-V2X mode 2 through an open-source simulator," IEEE Access, 2021