

5G NR V2X 통신 품질 데이터를 활용한 차량 경로 탐색 알고리즘에 관한 연구

홍상우, 이지석, 최준성

충북대학교

dhkdsns20@naver.com, ssean913@naver.com, choijs@chungbuk.ac.kr

A Study on Vehicular Path finding Algorithm Using 5G NR V2X Communication Quality Data

Hong Sang Woo, Lee Ji Seok, Junsung Choi

Chungbuk National Univ.

요약

본 논문은 3D Map 기반 지형 정보와 통신 신뢰성을 동시에 고려하여 5G NR V2X의 통신 품질 기반 최적경로 탐색 알고리즘을 제안한다. 기존의 경로 탐색 방식이 주로 최단 거리나 최소 시간을 기준으로 한 것과 달리, 본 연구에서는 5G NR V2X 기반의 통신 품질 데이터를 바탕으로 실시간 신호 품질을 반영한 최적경로를 탐색하고자 하였다. 이를 위해 OpenStreetMap을 활용한 실제 지형 정보와 전파 누리를 통해 생성된 송신기 배치 기반의 전파 환경 시뮬레이션을 결합하였으며, Vienna 5G 시뮬레이터를 사용해 송수신 노드 간의 수신 신호 세기(RSSI)를 측정하고, 이를 기반으로 각 노드에 대한 통신 품질을 평가하였다. 이렇게 산출된 정보를 바탕으로 통신 품질 기반의 최적 경로를 도출할 수 있었다.

I. 서론

최근 자율주행차량은 기술의 발전에 힘입어 빠르게 상용화되어 가는 교통 효율성을 향상하고 사고 확률을 줄이는 데 기여할 것으로 기대된다. 또한 자율주행차량의 비율이 증가함에 따라 다양한 주행 환경에서의 통신 안정성과 신뢰성에 대한 논의가 있다.

선행 연구로 5G NR V2X 시스템의 통신 성능분석 방법론을 제시하고, 실제 도로 환경에서의 성능 검증을 통해 초고속, 초저지연, 고신뢰 통신의 가능성을 입증하였다 [1]. 또한, 자율주행 차량이 도로 인프라 위험 요소를 효과적으로 모니터링 할 수 있도록 보상 최적화 기반의 최적 경로 알고리즘을 제안한 연구가 있다 [2].

현재 Google Maps, TMAP과 같은 상용 네비게이션 시스템은 최단 거리 또는 최소 시간을 기준으로 최적 경로를 탐색한다. 그러나 자율주행이 보편화될 미래에는 안정적인 통신 환경이 곧 주행 안정성과 직결되므로, 단순한 거리나 시간 기준을 넘어 통신 품질 기반의 경로 탐색이 필수적이다. 특히, 불안정한 통신 환경은 실시간 정보 교환에 지연을 발생시키거나 돌발 상황에서의 반응 속도를 늦춰 사고를 초래할 수 있다.

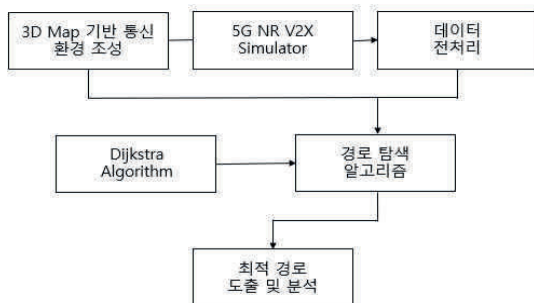


그림1. 경로 탐색 수행 과정

최적화 방안을 제시한다. 실제 지형을 반영한 OpenStreetMap과 실제 송신기 배치를 반영한 전파 누리 [3]를 활용하여 5G NR V2X 기반 전파 환경을 구성한다. 전체적인 연구는 그림 1의 과정에 따라 진행되며 출발지부터 목적지까지의 송신단과 수신단간의 신호 품질 파라미터를 가중치로 활용한 최적 경로 탐색 알고리즘을 제안한다.

II. 본론

1. 통신 품질 데이터 (RSSI) 도출 및 처리율 (Throughput) 계산

경로 손실 $L_p(dB)$ 을 구하는 과정은 식 (1)과 같다. Vienna 5G NR V2X 시뮬레이터[4]를 이용해 송수신 노드 간의 통신 품질 데이터를 수집하였다. 이때, 수신전력(RSSI : Received Signal Strength Indicator)을 기반으로 하였다. P_t (송신 전력)은 $23dBm$, G_t (송신 안테나 이득)은 $7.6dBi$, G_r (수신 안테나 이득)은 $5.5dBi$, L_f (페이딩 손실)은 $10dB$, L_m (기타 손실)은 $3dB$ 로 해당 구성은 참고문헌 [5]에 기반 하였다.

$$L_p(dB) = P_t(dBm) + G_t(dBi) + G_r(dBi) - P_r(dBm) \quad (1) \\ - L_f(dB) - L_m(dB)$$

이를 바탕으로 각 수신 노드에 대한 $L_p(dB)$ (경로 손실)을 Ray tracing 기반의 전파 모델을 사용한 시뮬레이션으로 계산하였다 [6]. 이후 시뮬레이터 내의 CQI(Channel Quality Indicator) 테이블을 참조하여 각 위치에서의 최대 처리율을 매칭하였다.

그림 2는 970개의 유효 노드가 존재하고 각 노드에서 수집된 RSSI 데이터를 바탕으로 시뮬레이션 시나리오 내 각 위치의 처리율을 계산한 결과를 나타낸다. 이를 통해 노드 사이의 통신

본 연구에서는 차량의 안정성을 높이기 위해 신호 품질을 고려한

성능을 시각화한 수신 감도 기반의 간선 지도(edge map)를 생성하였다.

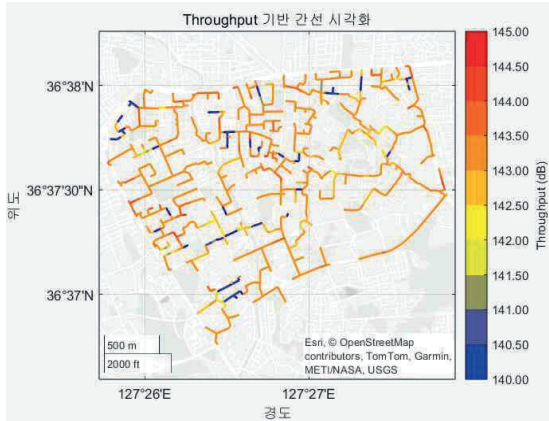


그림2. 처리율 기반 간선 시각화

2. 다익스트라 (Dijkstra) 알고리즘

다익스트라 알고리즘은 그래프상에서 한 노드로부터 다른 노드까지의 최단 경로를 계산하기 위한 대표적인 기법으로, 현 노드에서 인접한 노드로 향하는 간선의 가중치를 기준으로 다음 경로를 선택하며, 이 과정을 반복적으로 수행하여 최종적으로 목적 노드까지의 최단 경로를 도출한다.

3. 경로 탐색 알고리즘

경로 탐색 알고리즘은 경로를 다익스트라 알고리즘을 사용하여 경로를 탐색한다. 이를 위해 5G NR V2X 시뮬레이터로부터 추출된 처리율 값을 970개의 유효 노드에 매칭하고, 간선에 대한 가중치는 거리와 처리율에 기반하여 선정하였다.

이후 전처리된 데이터를 바탕으로 거리와 처리율 간 가중치 비율을 조절하여 다양한 경로를 탐색하였으며, 그중에서도 가중치 비율에 따른 경로의 변화가 뚜렷하게 나타난 3개의 대표 경로를 선정하였다. 선택된 경로는 그림 3과 같이 시각화하였다.

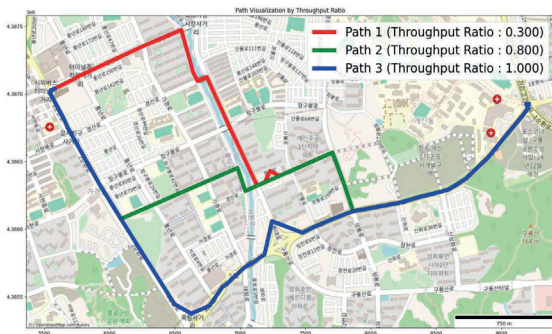


그림3. 가중치 비율에 따른 경로

각 경로는 가중치 비율에 따라 구분되며, 경로 1은 파란색 (처리율: 1.0), 경로 2는 초록색 (처리율: 0.8), 경로 3은 빨간색 (처리율: 0.3) 선으로 표현하였다.

4. 가중치에 따른 경로 분석

각 비율에 따른 경로 요약 정보를 표1에 제시하였다. 처리율 대비 거리 가중치 비율에 따른 총거리, 평균 처리율, 소요 시간의 비교 결과를 나타낸다. 각 경로의 소요 시간은 청주통합교통정보센터에서 수집한 도로 교통 데이터가 제시한 평균속도 33.4km/h를 적용하여 계산하였다[7].

표1. 최적경로 결과 비교

경로	비율 (처리율 : 거리)	총거리 (m)	평균 처리율 (Mbps)	소요 시간 (초)
1	0.3 : 0.7	4203.62	139.55	453.1
2	0.8 : 0.2	4136.02	143.28	445.8
3	1.0 : 0.0	4300.05	143.29	463.5

표1에서 경로 1의 경우, 총거리는 4203.62m, 소요 시간은 453.1초, 평균 처리율은 139.55Mbps로 나타났다. 반면 처리율에 대한 가중치를 높인 경로 2와 경로 3에서는 총거리와 소요 시간은 각각 4136.02m, 445.8초 및 4300.05m, 463.5초로 나타났다. 두 경우의 처리율은 각각 143.28Mbps, 143.29Mbps로 측정되었다.

분석 결과, 처리율의 가중치 비율이 낮은 경우 비교적 짧은 거리의 경로가 선택되었으나 평균 처리율은 낮게 나타났으며, 반대로 처리율의 가중치가 높은 경우 높은 처리율을 보장하는 대신 경로의 총거리가 증가하는 경향을 보였다. 따라서 적절한 가중치 조합을 찾아내는 것이 필요하다.

III. 결론

본 논문에서는 실제 지형과 5G NR V2X 전파 환경을 구성하고, 송수신 간 신호 품질 파라미터를 가중치로 활용한 최적 경로 탐색 알고리즘을 수행하였다.

시뮬레이션 결과, 서비스 목적과 환경 조건에 따라 거리와 처리율 간 최적의 균형점을 설정할 필요성이 있음을 시사한다.

향후 연구에서는 실시간 교통량, 도로 상황 등의 추가 데이터를 통합하여 알고리즘을 확장하고, 실제 주행 환경에 적용할 수 있는 동적 경로 최적화 방안에 대한 검증을 수행할 예정이다. 본 연구의 결과는 향후 자율주행 차량의 안전성과 효율성을 동시에 확보할 수 있는 기반 기술로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 이지민, 장성현, 윤상훈, 임기택, 신대교, 장수현, 장준혁, 안병만. "5G-NR-V2X 시스템 개요 및 통신 성능 분석방법론." 전기전자학회 논문지, 28(3), pp. 310-320, 2024
- [2] 김규옥, 조선아. "도로 인프라 모니터링을 위한 자율주행 차량 최적경로 알고리즘." 한국ITS학회 논문지, 22(1), pp. 265-275, 2023.
- [3] 전파누리. "무선국 정보". 2025. (<https://spectrummap.kr/index.do>)
- [4] Vienna 5G Simulators. "Vienna 5G Link Level Simulator". 2025 (<https://www.tuwien.at/etit/tc/en/vienna-simulators/vienna-5g-simulators/>)
- [5] K. Bechta, J. Du and M. Rybakowski, "Rework the Radio Link Budget for 5G and Beyond," IEEE Access, vol. 8, pp. 211585-211594, Nov.2020
- [6] Silva, Rolando and Fernández, Andrea. "Urban Signal Propagation Study Using Ray Tracing Methods in Tegucigalpa, Honduras". 국제공학기술교육학술대회 논문집, 논문번호 156, 2024.
- [7] 청주통합교통정보센터, "중합교통정보 현황", 2025. (<https://cjits.go.kr>)