

자율주행 차량의 전역 경로 계획을 위한 이종 지도의 경로 융합 기법에 관한 연구

이선호, 성재호, 김준영, 김태형, 김봉섭, 윤경수*

지능형자동차부품진흥원

2prefer@kiapi.or.kr, wogh3569@kiapi.or.kr, kwnsdud@kiapi.or.kr, thkim@kiapi.or.kr,
bskim@kiapi.or.kr, *kadbonow@kiapi.or.kr

A Study on the Path Fusion Technique of Heterogeneous Maps for Global Path Planning of Autonomous Vehicles

Sunho Lee, Jaeho Seong, Junyeong Kim, Taehyeong Kim, Bongseob Kim, Kyungsu Yun*

Korea Intelligent Automotive Parts Promotion Institute(KIAPI)

요 약

자율주행 차량의 전역 경로 계획을 위해 정밀도로지도가 활용되지만 전국 모든 도로에서 활용하는 데에는 제약이 있다. 본 연구는 정밀도로지도와 수치지형도 기반의 지도 서비스에서 생성된 각각 경로를 융합하기 위한 방법을 제안한다. 정밀도로지도가 구축된 구간에서는 높은 정밀도를 확보하고, 미구축 구간에서는 외부 지도 서비스를 활용하여 연속적인 경로 생성을 가능하게 하였다. 또한 스무딩 알고리즘을 적용해 이종 지도 간 불연속성을 완화하였으며, 제안 기법의 유효성을 확인하였다.

I. 서 론

자율주행 기술은 SAE J3016[1]에서 정의한 바와 같이 운전자 지원 단계(1단계)부터 완전 자율주행 단계(5단계)까지 구분된다. 운전자의 개입을 전제하지 않는 4단계 이상의 차량은 스스로 전역 경로를 생성하고 주행을 수행할 수 있어야 하므로, 전역 경로 계획은 완전 자율주행 구현을 위한 핵심 기술일 뿐 아니라 안전한 자율주행을 위한 필수 요소이다.

전역 경로 계획을 위해 정밀도로지도(High-Definition Map)를 활용한 연구가 활발히 진행되고 있으며[2], 현재 국내에서는 국토지리정보원이 정밀도로지도를 제작/배포[3] 하고 있다. 정밀도로지도는 3차원 공간상에서 0.5m 이내의 높은 정밀도를 기반으로 자율주행차량의 위치 인식, 경로 계획 및 변경, 도로교통 규제 인식 등 자율주행 기술의 기본 인프라로써 활용된다. 현재 전국 고속도로, 일반국도, 시범운행지구 등을 비롯한 많은 구간에 구축되어 있으나, 지도 구축에 상당한 비용과 시간이 요구되므로 전국의 모든 도로를 포함하지는 않는다.

정밀도로지도 미구축 지역에서는 수치지형도 기반의 Open API(Application Programming Interface) 지도 서비스를 활용하는 방법이 대안이 될 수 있다. 웹 기반 플랫폼은 전국 단위의 최신 도로 정보가 지속적으로 갱신·관리되어 최신 정보에 기반한 경로 계획이 가능하지만, 정밀도로지도에 비해 정보의 양이 적고 기하학적 요소의 위치 정밀도가 떨어진다.

이러한 문제점들을 해결하기 위해, 본 논문은 정밀도로지도와 수치지형도 기반의 지도 서비스를 연계하여 전역 경로 계획을 위한 이종 지도 기반 생성 경로 스무딩 방법을 제안한다. 정밀도로지도가 있는 구간에서는 경로 계획의 정밀도를 확보하고, 정밀도로지도가 없는 구간에서는 수치지도를 연계 활용하여 자율주행 차량 전역 경로 계획의 연속성과 완전성을 확보한다. 이종 지도 간 경계 구간에서 발생될 수 있는 경로의 불연속성을 완화하기 위해 곡선 기반 스무딩(Curve-based Smoothing) 알고리즘을 적용하였으며, 실험을 통해 제안 방법의 유효성을 검증하였다.

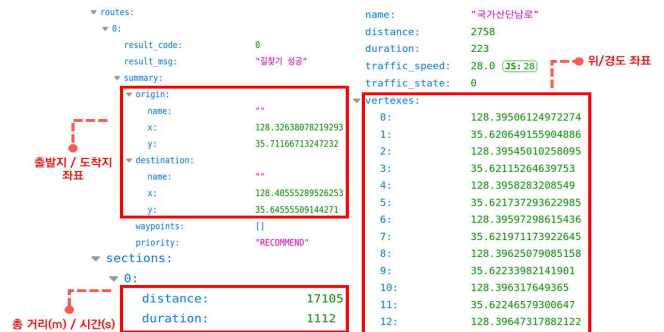


그림 1. 지도 서비스의 전체 경로 데이터(JSON)

II. 본 론

1. 이종 지도 데이터 규격

수치지형도 기반의 지도 서비스가 제공되는 플랫폼에서는 Open API 형태로 경로 탐색 기능을 제공하고 있으며, REST(Representational State Transfer) 방식으로 외부 활용이 가능하도록 지원한다. 서비스 사용자는 출발지와 목적지의 위치(위·경도) 좌표 데이터를 URI(Uniform Resource Identifier) 규격으로 송신하여 경로를 요청한다. 서버는 출발지와 목적지의 위치를 기반으로 경로를 탐색하고, 전체 거리, 예상 소요 시간, 도로 명칭, 경로를 구성하는 위치 좌표 등이 포함된 전체 경로 데이터를 그림 1과 같이 JSON(JavaScript Object Notation) 규격으로 반환한다.

국내의 정밀도로지도는 점군 데이터, 벡터 데이터로 구성되어 있으며, 주행경로노드/링크, 차도구간, 부속구간, 주차면, 안전표지, 노면선표시, 노면표시, 신호등, 킬로포스트, 차량번호안전시설, 과속방지턱, 높이장애물, 지주 등 14개 계층으로 구성되어 있다. 각 계층을 구성하는 지형/지물의 특성에 따라 점/선/면 형태로 해당 위치를 표시하고 있다. 정밀도로지도에 대한 시각화 예시는 그림 2와 같다. 정밀도로지도에는 주행경로링크(차로중심선) 계층이 포함되어 있으며, 경로 탐색을 위해 일반적으로 해당



그림 2. 정밀도로지도(지능형자동차부품진흥원 주행시험장) 계층이 사용된다. 경로 계획에는 일반적으로 A*, Dijkstra 알고리즘[4-5] 등의 최적 경로 탐색 알고리즘이 활용된다. 최적 경로 탐색을 통해 출발지와 목적지 간의 차로 중심선 좌표 데이터가 추출된다. 정밀도로지도로부터 추출된 차로 중심선을 지도 서비스 플랫폼에서 반환된 경로 데이터와 연결하면 자율주행 차량이 이동하게 될 경로가 완성된다.

2. 이중 지도의 경로 융합

수치지형도 지도 기반 전역 경로와 정밀도로지도 기반 전역 경로가 연결되는 구간에서는 정밀도의 차이 등으로 인해 위치 불일치, 급격한 방향 전환 등 경로의 불연속성이 발생할 수 있으며, 이는 자율주행차량의 주행 안정성을 저하시킬 수 있어 연결 구간의 연속성을 확보할 필요가 있다.

본 논문은 수치지형도 지도 기반의 생성 경로와 정밀도로지도 기반의 생성 경로 간의 융합을 위하여 스무딩 기법[6]을 적용하였다. 이는 서로 다른 두 경로 간 연결 지점의 곡률을 완만하게 하기 위하여 베지어 곡선으로 연결하는 방식이며 다음 식과 같다.

$$B(t) = (1-t)^3P_0 + 3(1-t)^2tP_1 + 3(1-t)t^2P_2 + t^3P_3 \quad (1)$$

여기서 P_0 는 지도 1로부터 생성된 전역 경로의 마지막 지점, P_3 는 지도 2로부터 생성된 전역 경로의 시작 지점을 의미한다. P_1 과 P_2 는 두 지점 간의 곡률을 조정하기 위한 제어점이며, t 는 곡선 상의 점의 위치를 결정하는 매개변수로 $0 \leq t \leq 1$ 사이의 범위에서 정의된다. 베지어 곡선 기반 스무딩 기법을 적용한 결과는 그림 3과 같다. 적용 전에는 수치지형도에서 생성한 경로가 정밀도로지도의 차로 중심선(주황색)과 정확히 연결되지 않았으나, 적용 후에는 경로가 완만하게 연결된다.

III. 실험

본 논문은 정밀도로지도가 구축된 지능형자동차부품진흥원 주행시험장과 그 주변의 정밀도로지도가 구축되지 않은 지역(경상북도 고령군 우곡면)을 대상으로 제안 방법을 검증하였다. 또한 Ubuntu 22.04. ROS2 Humble 환경에서 개발된 SW를 이용하였으며, 기준 좌표는 UTM (Universal Transverse Mercator)이 사용되었다.

정밀도로지도가 구축되지 않은 지역은 지도 서비스를 이용하여 경로를 탐색하였으며, 그림 4와 같다. ROS2 환경에서 API 지도 서비스를 활용해 웹 브라우저로 생성한 지도와 동일하게 경로를 반환하였다. 그림 5는 제안 방법을 통해 두 경로가 융합되고 연속성이 확보된 결과를 보여준다.

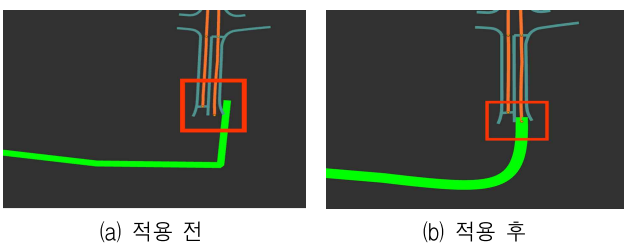


그림 3. 이중 경로 융합 방법 적용 전/후

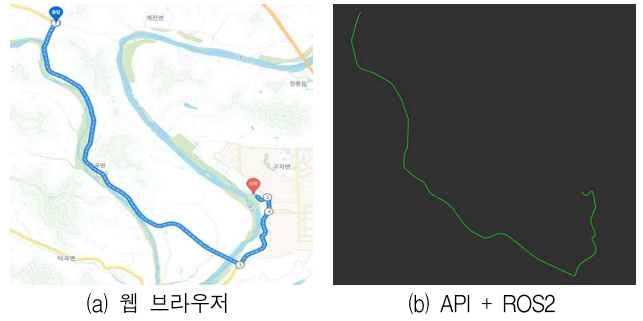


그림 4. 지도 서비스를 활용한 경로 생성 결과

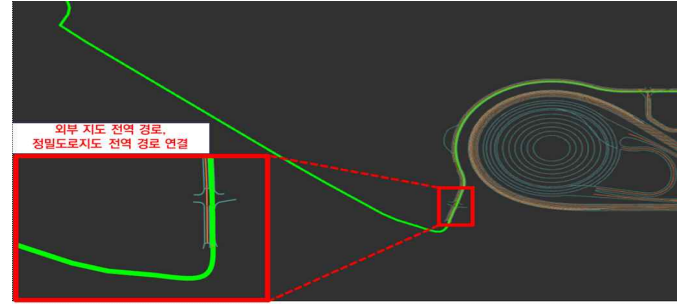


그림 5. 이중 지도 경로 융합

IV. 결론

본 논문은 자율주행차량에서 이중 지도를 활용하는데 있어 상호 간의 단점을 보완하기 위해 각 지도에서 생성된 경로를 융합하기 위한 방법을 제안하였으며, 실험을 통해 제안 방법의 연속성을 검증하여 유효성을 확인하였다. 향후에는 지도 서비스를 활용한 실시간 동적 경로 생성을 통해 정밀도로지도가 구축되지 않은 구간에서도 연속적인 자율주행 경로를 확보할 수 있도록 고도화할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2023-00229833, 클라우드로 기반 자율주행 차량 오류 및 한계 상황 지능형 원격지원 기술 개발)

참 고 문 헌

- [1] SAE J3016, Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles, SAE International, 2014.
- [2] 김태형, 이윤화, 윤윤기, 조봉균, 윤경수, “비정형 환경 이면도로 자율주행을 위한 정밀도로지도의 벡터 데이터 활용에 관한 연구,” 한국통신학회 학술대회논문집, 제주, Jun. 2021.
- [3] 국토지리정보원, “국토정보플랫폼,” (<https://map.ngii.go.kr/>).
- [4] A. Stentz, “Optimal and efficient path planning for partially known environments,” Proc. IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 4, pp. 3310-3317, 1994.
- [5] R. C. Prim, “Shortest Connection Networks and Some Generalizations,” The Bell System Technical Journal, Vol.36, No.6, pp. 1389-1401, 1957.
- [6] A. J. Choi, “Path planning based on Bezier curve for autonomous ground vehicles,” Proc. of 2008 World Congress on Engineering and Computer Science, pp. 158-166, 2008.