

자율주행 레이싱카 제어 모델에 관한 예비연구

이영찬^{1*}, 윤예빈^{1*}, 박범진¹, 김이안¹, 이규빈¹, 이승현¹, 함소진¹, 문희창², 유원상^{1‡}

¹선문대학교 정보통신공학과

²홍익대학교 기계시스템디자인공학과

*공동주저자, ‡교신저자

lyc_1996@naver.com, qsxdr0@naver.com, parkbj245@naver.com, ooliskoo@naver.com,
askailak@gmail.com, eee668@naver.com, gkathls@naver.com, hcmoon@hongik.ac.kr,
wyou@sunmoon.ac.kr

A Pilot Study on Self-driving Racing Car Control Model

Youngchan Lee^{1*}, Yebin Yoon^{1*}, Bumjin Park¹, Ian Kim¹,
Gyubin Lee¹, Seunghyun Lee¹, Sojin Ham¹, Hee Chang Moon², Wonsang You¹

¹Dept. of Information and Communications Engineering, Sun Moon University

²Dept. of Mechanical and System Design Engineering, Hongik University

*These authors contributed equally, ‡ Corresponding author

요 약

자율주행 기술이 급속도로 발전하고 있지만, 자율주행 레이싱 기술과 관련 산업은 전세계적으로 아직 걸음마 수준이다. 본 연구팀은 국내 자율주행차 대표기업인 (주)엔맨드솔루션에서 지원하는 플랫폼을 사용하여 자율주행 레이싱 제어 모델 프레임워크를 설계하고 기초 실험을 진행하였다. 제안된 자율주행 레이싱 제어 모델은 GPS 신호처리부, LiDAR 신호처리부, 영상처리부, 차량제어부, 추월/회피 제어부, 컨트롤러 통신부 등으로 구성된다. 실험을 통해 각 구성요소에 대한 기본 성능을 검증하였고, 레이싱에 최적화된 인공지능(AI) 기반 추월/회피 제어 알고리즘 개발을 위한 중요한 토대를 마련하였다. 본 연구를 바탕으로 2021년 11월에 국내 최초로 개최되는 세계 AI 로봇카레이스 대회에 출전하여 제안된 자율주행 레이싱 제어 모델 프레임워크의 성능을 검증할 계획이다.

1. 서론

4차산업혁명 시대 자율주행차 관련 산업은 급속도로 성장하고 있다. 테슬라는 2021년 완전 자율 주행 기술 완성 계획을 발표하였고, 일본의 혼다는 2021년 3월부터 세계 최초로 3단계 자율주행 자동차 대량생산 중에 있다. Navigant Research의 보고서에 따르면, 2025년 전 세계 4%에 불과한 자율주행자동차가 2035년에는 75%까지 증가할 것으로 예측된다.

이러한 추세와 맞물려, 최근 오토레이싱(auto racing) 분야에서도 자율주행 기술을 접목하려는 시도가 이어지고 있다. 2019년 스페인에서 세계 최초의 자율주행 레이싱 대회인 Roborace가 열렸다. 2021년 10월에는 미국 인디애나폴리스에서 Indy Autonomous Challenge (IAC)가 열리며, 국내에서는 2021년 11월 국내 최초로 세계 AI 로봇카레이스 대회가 열릴 예정이다.

이와 같이 전세계적으로 자율주행 카레이싱에 대한 관심이 높아짐에 따라, 레이싱에 특화된 자율주행 플랫폼에 관한 연구도 최근 세계적으로 활발히 이루어지고 있다[1,2]. 국내에서도 (주)쓰리세컨즈 등 기업을 중심으로 관련기술이 개발되고 있지만, 높은 개발비용으로 인해서 기술개발이 미진한 실정이다.

본 연구는 상대적으로 저가의 자율주행 레이싱 플랫폼을 사용하여 자율주행 레이싱카 제어 모델을 개발하기 위한 선행연구이다. 본 연구의 목적은 국내 자율주행차 대표기업인 (주)엔맨드솔루션에서 설계하고 제작한 자율주행 레이싱 플랫폼(ERP42 Racing)에 탑재될 자율주행 레이싱 제어 모델의 각 구성요소의 기본 기능을 구현하고 성능을 검증하는데 있다.

본 연구를 바탕으로 개발되는 자율주행 레이싱카 제어 모델은 레이싱카 플랫폼에 탑재되어 2021년 11월에 국내 최초로 개최되는 세계 AI 로봇카레이스 대회에 출전할 계획이다.

2. 실험방법

2.1. 자율주행 레이싱 제어 모델의 구조

자율주행 레이싱 플랫폼 ERP42 Racing은 플랫폼 컨트롤 유닛(Platform Control Unit, PCU)에 카메라, 전방 LiDAR, 360도 LiDAR, GPS와 같은 각종 센서들과 구동모터가 연결되어 있다. 자율주행 레이싱 제어 모델 및 각종 알고리즘은 상위 컨트롤러(NEOUSYS POC-545)에 탑재되어 PCU와의 통신을 통해 플랫폼을 구동한다(그림 1).

상위 컨트롤러에 탑재되는 자율주행 레이싱 제어 모델은 GPS 신호처리부, LiDAR 신호처리부, 카메라 영상처리부, 차량제어부, 추월/회피 제어부, 컨트롤러 통신부 등으로 구성된다. 전체적인 모델의 구조는 다음과 같다.



(그림 1) 자율주행 레이싱 제어 모델의 구조.

2.2. GPS 신호처리부

GPS 신호처리부는 그림 2에 나타난 바와 같이 ZED-F9P GPS 센서를 사용하여 위성으로부터 데이터를 수신하고 디코딩하여 차량의 위치를 추출하고 사전 학습된 주행 경로에 매핑한다.

위성 데이터는 NMEA-0183 프로토콜로 전송되는데, 시간, 위치, 방위 등의 정보를 전송하기 위한 프로토콜로서 ASCII 코드로 직렬 방식의 통신을 사용한다[6]. 프로토콜로부터 추출된 차량 위치 정보는 평면직각(TM) 좌표계로 변환된다.

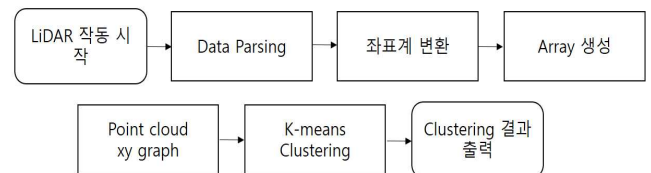
주행경로를 사전 학습하기 위해 Route Definition Data File(이하 RDDF)를 생성한다[3]. 주행 경로는 시간에 따라 취득된 Way Point로 구성된다. 정확한 경로를 구성하기 위해 Cubic spline 보간법을 사용하여 경로를 보간한 후, Shapely 알고리즘을 사용하여 Way Point 간의 간격을 균일하게 보정한다[4].



(그림 2) GPS 신호처리 과정.

2.3. LiDAR 신호처리부

LiDAR(Light Detection And Ranging)는 레이저 펄스를 발사해 물체에 레이저가 반사되어 돌아오는 시간을 측정하여 대상과의 거리정보를 습득하는 장치이다. 전방 LiDAR 센서로 사용되는 Velarray H800은 탐지범위가 최대 200m에 이르며 수평 FOV(field of view)는 최대 120도이다. 360도 LiDAR 센서로 사용되는 Velodyne 사의 VLP-16은 탐지범위가 최대 100m이다. LiDAR 신호처리의 전체 과정은 그림 3에 나타나 있다.



(그림 3) LiDAR 포인트 클라우드 구성과정.

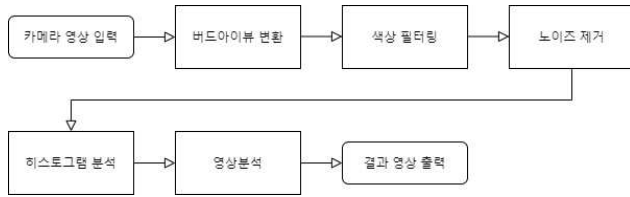
전방 LiDAR 센서 및 360도 LiDAR 센서와의 통신은 UDP 프로토콜로 이루어지며, 데이터를 파싱(parsing)한 후 좌표를 직각좌표계로 변환하여 3차원 포인트 클라우드(point cloud)를 구성한다. 3차원 포인트 클라우드로부터 변환된 2차원 포인트 클라우드 상에서, k-means 클러스터링 알고리즘을 사용하여 주위 레이싱카의 위치를 자동으로 인식하고, 현재 차량의 위치와 주위 차량 간의 거리와 방향을 계산한다[5].

2.4. 카메라 영상처리부

카메라 영상처리부에서는 전방 카메라 영상으로부터 영상처리 알고리즘을 통해 차선을 인식하고 양옆 차선과 차량과의 거리를 계산하여 차량이 차로 가운데로 주행할 수 있도록 한다. 컨트롤러에서 실시간 처리가 가능하여야 하므로 계산량이 많은 복잡한 알고리즘 보다는 빠른 검출 속도와 정확한 차선인식이 가능하도록 설계하였다.

차선인식(lane detection)의 전체적인 과정은, 그림 4에 보이는 바와 같이, 버드아이뷰 변환(transform to bird's eye view), 색상 필터링(color filtering),

노이즈 제거(noise reduction), 영상 분석(image analysis)의 과정으로 구성된다.



(그림 4) 차선인식 알고리즘의 구조.

버드아이뷰 변환은 차선 검출 전에 카메라 영상을 하늘에서 아래로 내려다보는 형태로 변환하는 과정이다. 색상 필터링 과정에서는, HLS 색공간을 이용해 노란색과 흰색만을 인식하도록 한다. 노이즈 제거 과정에서는, 모폴로지(morphology) 연산의 닫힘 및 열림 연산을 이용해 차선 외의 다른 잡음들을 지워내어 차선을 뚜렷하게 검출될 수 있도록 한다. 노이즈가 제거된 영상을 히스토그램 분석을 통해 차선의 좌표를 확인한다. 영상분석 과정에서는 차선의 좌표를 이용한 계산으로 양쪽 차선과의 거리, 인식 속도, 인식 가능 여부 등을 계산한다.

2.5. 모터 제어부

모터 제어부에서는 경로 추종 알고리즘(path tracking algorithm)을 이용하여 GPS RDDF에 따라 주어진 주행 경로와 추월/회피 플래닝에 따라 구동 모터를 제어하여 차량의 속도와 조향각 등을 최종적으로 결정한다.

경로 추종 알고리즘으로서 Stanley method와 Pure Pursuit 알고리즘을 사용한다. Stanley method는 전륜 중심 위치에 대한 경로 곡선의 최단 거리와 차량과 곡선 접선 각도 오차를 이용하여 조향각을 결정하는 방법이다[6]. Pure Pursuit 알고리즘은 후륜을 기준으로 차량의 현재 위치에서 목표점까지 이동하기 위한 곡률을 계산하여 경로를 추종하는 방법이다[7].

우리 연구팀은 곡선 주행 구간에서 모터 제어 성능을 높이기 위해 '적응적' 경로 추종 알고리즘을 사용하였다. RDDF 주행 경로에서 곡선 주행 구간을 자동으로 추출하여, 직진 경로에서는 Stanley method를 적용하고, 곡선 경로에서는 더 나은 성능을 보이는 Pure Pursuit 알고리즘을 적용하도록 하였다.

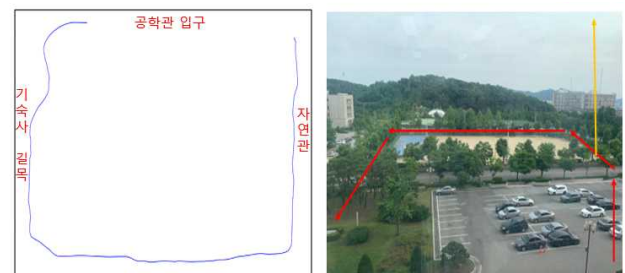
2.6. 컨트롤러 통신부

컨트롤러 통신부는 자율주행 레이싱 플랫폼 내 센서 및 구동 모터와 직접 연결된 PCU와 상위 컨트롤러 사이의 데이터 통신을 지원한다. 데이터 통신은 시리얼 통신의 한 종류인 RS-232 프로토콜을 기반으로 이루어지며, ERP42 Racing 플랫폼 통신 표준 프로토콜에는 모터 제어와 관련된 각종 파라미터(ESTOP, GEAR, SPEED, BRAKE 등)가 규격화되어 있다.

3. 실험결과

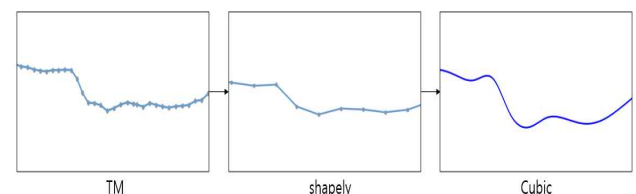
자율주행 레이싱 제어 모델 프로그램은 Python 3.7 및 LabVIEW 기반으로 Visual Studio Code 통합개발환경을 사용하여 구현하였다. 제안된 자율주행 레이싱 제어 모델 중에서 추월/회피 제어부를 제외하고 성능이 평가되었다.

GPS 신호처리부의 성능을 검증하기 위해, 선문대학교 아산캠퍼스를 중심으로 RDDF 주행 경로 테스트 샘플을 제작하였다. 그림 5에 보이는 바와 같이, GPS 센서를 차량에 설치하고 GPS 신호를 수집하여 RDDF 데이터 샘플을 성공적으로 구성하였다.



(그림 5) RDDF 테스트 샘플.

그림 6과 같이, Cubic spline 보간법을 사용하여 RDDF 경로를 보간한 후, Shapely 알고리즘을 사용하여 Way Point 간의 간격을 균일하게 보정하였다.



(그림 6) RDDF 보간 과정

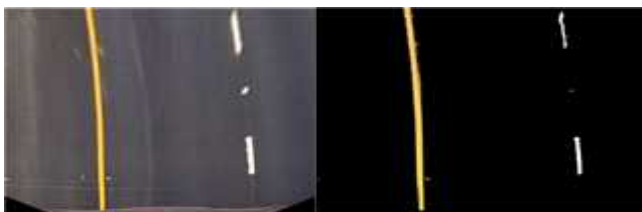
그림 7은 실내환경에서 VLP-16 LiDAR 센서 데이터로부터 2차원 포인트 클라우드를 구성한 결과를 보여준다. 영상 가운데에 놓은 현재 위치로부터 360도 사

방에 위치한 주위 사물들이 포인트의 형태로 매핑되어 있음을 볼 수 있다.



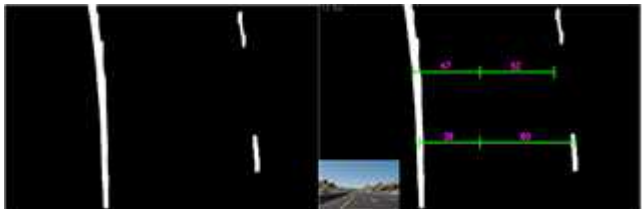
(그림 7) 2차원 포인트 클라우드.

그림 8은 버드아이뷰 변환, 색상 필터링, 노이즈 제거, 차선 검출 및 차선과의 거리계산 과정을 포함한 차선인식 알고리즘의 결과 예시를 보여준다.



(a) 버드아이뷰 변환

(b) 색상 필터링

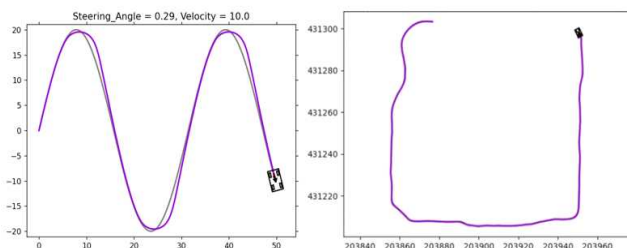


(c) 노이즈 제거

(d) 차선 검출 및 거리계산

(그림 8) 차선인식의 예시.

그림 9는 적응적 경로 추종 알고리즘(Stanley method 및 Pure Pursuit)을 이용한 시뮬레이션 결과를 보여준다.



(그림 9) 경로 추적 알고리즘 시뮬레이션.

4. 결론

본 연구에서는 자율주행 레이싱 플랫폼 ERP42 Racing을 사용하여 자율주행 레이싱카 제어 모델을 개발하기 위한 선행연구로서, 제어 모델의 각 구성요소의 기본 기능을 구현하고 성능을 검증하였다.

본 연구는 선행연구로서 각 구성요소들의 성능이 아직 완전하게 구현되지 못하였다. 향후 각 구성요소들의 기능을 고도화하고 자율주행 레이싱카에 특화된 기능이라고 볼 수 있는 추월/회피 알고리즘을 완성하여 현장실험을 통해 플랫폼의 최종 성능을 검증할 계획이다. 개발되는 자율주행 레이싱카 제어 모델은 추후 보완 및 개량을 통해 레이싱카 플랫폼에 탑재되어 2021년 11월에 국내 최초로 개최되는 세계 AI로보카 레이스 대회에 출전할 계획이다.

향후 인공지능을 사용하여 전략적 주행이 가능한 자율주행 레이싱 기술로 발전할 수 있다. 예컨대 공격적이거나 부드러운 레이싱 모드를 선택하여 개인화된 레이싱이 가능할 것이다. 자율주행 레이싱은 일반 자율주행보다 고도의 인공지능 기술을 요하는 첨단 분야로서 세계적으로 아직 기초수준에 머물러 있다. 본 연구는 국내 자율주행 레이싱카 기술의 초석을 놓아 관련 산업의 발전에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] D. Caporale et al., "A Planning and Control System for Self-Driving Racing Vehicles," 2018 IEEE 4th International Forum on Research and Technology for Society and Industry (RTSI), pp. 1-6, 2018.
- [2] D. Caporale et al., "Towards the Design of Robotic Drivers for Full-Scale Self-Driving Racing Cars," 2019 International Conference on Robotics and Automation (ICRA), pp. 5643-5649, 2019.
- [3] 문희창, 손영진, 김정하, "다중 GPS를 이용한 무인자동차의 주행 알고리즘개발", 제어로봇시스템학회 논문, pp. 31-32, 2008.
- [4] C. Strobl, "Dimensionally Extended Nine-Intersection Model (DE-9IM)," Encyclopedia of GIS, S. Shekhar and H. Xiong, Eds., Springer, pp. 240-245, 2008.
- [5] S. Lloyd, "Least squares quantization in PCM," Information Theory, IEEE Transactions on 28.2, 129-137, 1982.
- [6] Hoffmann GM, Tomlin CJ, Montemerlo M, et al. "Autonomous automobile trajectory tracking for off-road driving", American control conference, New York, USA, 9-13, pp. 2296-2301, 2007.
- [7] O. Amidi and C. E. Thorpe, "Integrated mobile robot control," in Fibers' 91, Boston, MA, pp. 504-523, 1991.