

# 소형 자율주행차를 위한 횡방향 제어 알고리즘의 구현 및 실험 검증

## Implementation and Experimental Validation of Lateral Control Algorithm for a Miniature Autonomous Driving Vehicle

황영준 · 전하윤 · 김한솔  
Youngjun Hwang, Hayoon Jeon, and Han Sol Kim

단국대학교 전자전기공학부  
E-mail: {32195043, jhy2002, hansol}@dankook.ac.kr

### 요 약

본 논문은 소형 자율주행차가 스스로 목표 경로를 추종할 수 있도록 Stanley 기반 횡방향 제어를 구현하고 실험을 통해 이를 검증한다. 이를 위해, 본 연구에서는 ROS (robot operating system) 패키지를 이용하여 제어 알고리즘을 구현하며, 안정적인 횡방향 응답 성능을 얻을 수 있도록 실험을 통해 Stanley 상수를 설정한다. 또한, 목표 경로를 추종하기 위한 조향각을 계산하기 위해 차량에 탑재된 SBC (single board computer)는 RTK (real-time kinematic positioning) 센서를 이용하여 차량의 현재 위치 정보를 획득한다. 마지막으로, 실험을 통해 목표 좌표와 차량 위치 좌표 간의 RMS (root mean square) 오차를 구하여 본 논문에서 구현한 횡방향 제어기의 성능을 검증한다.

**키워드** : 차량 자율 주행, Stanley 알고리즘, 횡방향 제어, ROS, RTK

### 1. 서 론

최근 자율주행에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히, 활발한 연구가 진행된 운전자 보조 시스템 (Advanced driver assistance system, ADAS)이 실제 상용 차량에 탑재되어 운전자의 안전성과 편의성을 확보하고 있다. 운전자 보조 시스템은 횡방향 및 종방향 제어로 나눌 수 있는데, 횡방향 제어로는 차선 유지 보조 시스템, 차로 이탈방지 보조 시스템이 있다. 이러한 횡방향 제어 보조 시스템은 사용자가 직접 가속 페달을 밟아 속도를 조절하고, 제어 시스템에 의해 조향각이 계산된다.

대표적인 횡방향 제어 알고리즘[1]은 Stanley 알고리즘과 pure pursuit 알고리즘이 있다 [1]. Pure pursuit 알고리즘은 차량 전방의 목표지점까지 도달하기 위한 차량의 조향각을 계산하며, 전방의 목표지점 설정을 위한 목표지점까지의 거리를 파라미터로 가진다. 차량의 속도에 따라 적절한 파라미터가 선택되지 않으면, 불안정한 횡방향 응답을 얻는다. 반면, Stanley 알고리즘은 차량이 경로의 방향을 따라서 주행하며, 동시에 경로와의 거리 오차를 줄이는 조향각을 계산하며, 진행 방향과 경로의 방향 사이의 방향 오차와 차량의 위치와 목표지점까지의 거리 오차를 합하여 조향각을 계산한다. 이러한 과정에서 차량의 관성이 고려되어 pure pursuit 알고리즘에 비해 안정적인 경로 추종 성능을 달성한다.

이러한 분석을 바탕으로, 본 논문에서는 RTK 센서를 이용하여 얻은 차량의 현재 위치 정보를 통해 목표 경로를 추종하는 Stanley 알고리즘 기반 횡방향 제어를 구현한다. 횡방향 제어기 구현을 위해 소형 자율주행차를



그림 1. 1/10 크기의 소형 자율주행차.

Fig. 1. 1/10 scale miniature autonomus driving vehicle.

위한 ROS 패키지를 생성하여 차량의 상태 정보 및 제어 입-출력을 송수신한다. 이를 바탕으로 횡방향 제어를 위한 Stanley 제어를 설계하고, 추종 오차가 낮아지도록 Stanley 상수를 조절한다. 마지막으로, 실험 데이터를 확인하고 본 제어기의 성능을 검증한다.

### 2. 차량 구성 및 횡방향 제어기

본 논문에서는 그림 1의 소형 자율주행차량에 대한 횡방향 제어 알고리즘을 구현한다. 본 차량에서 센서 탑재부는 3D 설계를 통해 제작했으며, 차량의 전면부에는 2D LiDAR와 depth camera가 부착되어 있으며 후면부에는 RTK GPS-INS가 부착되었다.

본 차량의 구동부는 BLDC 모터로 구성되어 있으며, 이는 VESC를 통해 제어된다. 차량 속도 및 조향각 정보는 SBC에서 ROS topic으로 발행하며, 이를 통해 차량이 제어된다.

한편, 본 논문에서는 횡방향 제어를 위해 Stanley 제어 알고리즘을 사용하였고, 이에 대한 개념도는 그림 2와 같다. 그림 2에서  $h$ 는 종방향 축이고,  $v$ 는 차량의 속도이다. 또한, 전륜 축의 중심점을 기준으로 경로상 목표 지점까지의 벡터는  $\vec{x}$ 이며, 그 크기는 횡방향 오차  $e$ 로 나타낸다. 그리고,  $\psi$ 는  $h$ 와 목표지점에서의 경로의 기울

+교신저자

감사의 글 : 연구는 2023년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호 : RS-2023-00251621).

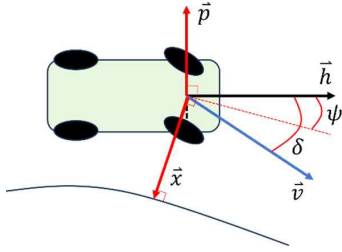


그림 2. Stanley 제어.  
Fig. 2. Stanley control.

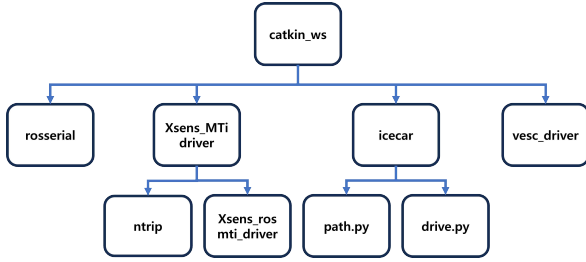


그림 3. ROS 패키지.  
Fig. 3. ROS package.

기 사이의 오차이며,  $\vec{p}$ 는 차량의 진행 방향에서 좌표축 상에서 시계방향으로  $\pi/2$  만큼 회전한 단위벡터이다. 이때, 차량의 조향각  $\delta$ 는 다음 식으로부터 결정된다.

$$\delta = \psi + \tan^{-1} \left\{ \frac{k \cdot (\vec{p} \cdot \vec{x})}{|v|} \right\}$$

이때  $k$ 는 이득 상수로 횡방향 제어기의 응답 속도에 영향을 미친다.  $k$ 를 높일수록 수렴 속도가 감소하나 오버슈트가 증가하므로 적절한 값으로 설정해야 한다.

앞서 분석한 Stanley 알고리즘을 이용하여 ROS noetic 환경에서 횡방향 제어 알고리즘을 구현하였고, 이에 대한 구조도는 그림 3과 같다. 그림 3에서 Rosserial 패키지는 무선 조종기 신호를 수신한다. 무선 조종기 신호를 통해 차량의 종방향 속도를 조절하였다. Icecar 패키지에서 path.py는 차량이 이동한 경로를 저장하고, drive.py는 Stanley 알고리즘을 통해 차량이 저장된 경로를 추종하도록 조향각을 생성하여 vesc\_driver 패키지에 topic으로 전달한다.

### 3. 실험 검증

그림 4와 같이 목표 경로 좌표를 설정하고, 실험을 통해 구현한 횡방향 제어 알고리즘의 경로 추종 성능을 측정하였다. 차량의 종방향 속도는 무선 조종기를 이용하여 수동으로 조작하였고, 차량의 조향각은 구현한 횡방향 제어기를 통해 계산되었다. 차량이 실제로 주행한 경로는 그림 4에 표시하였고, 이때  $x$ 축과  $y$ 축에 대한 경로 추종 오차 그래프는 그림 5의 (a)와 같으며, 차량의 종방향 속도와 조향각은 그림 5의 (b)에 표시하였다. 또한, 각 축에 대한 추종 오차의 RMS 값을 계산하여 표 1에 정리하였다. 실험 결과로부터 구현한 알고리즘을 통해 차량이 주어진 경로를 잘 추종함을 검증할 수 있다.

표 1. 추종 오차의 실효값.

Table 1. RMS value of the tracking error.

|         | $e_x$    | $e_y$    | $e$      |
|---------|----------|----------|----------|
| RMS [m] | 0.059468 | 0.061184 | 0.085323 |

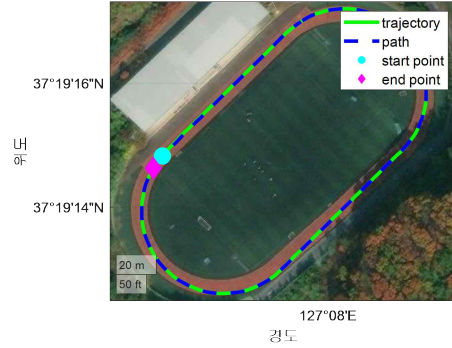
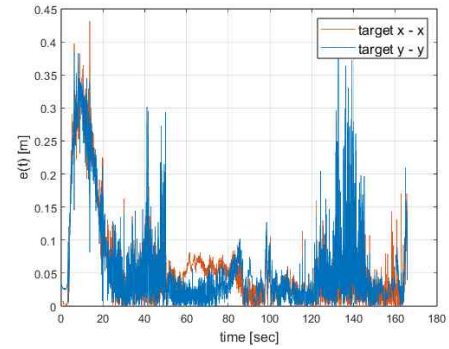
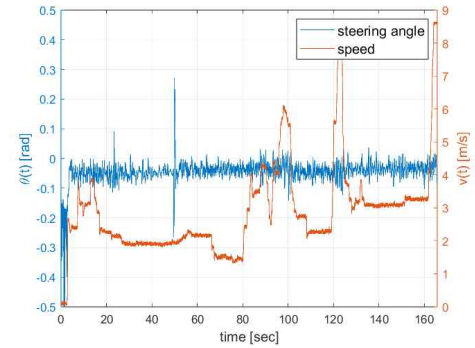


그림 4. 추종 경로 및 실험 결과.  
Fig. 4. Reference trajectory and experimental result.



(a)



(b)

그림 5. 실험 결과. (a) 추종 오차. (b) 조향각 및 차량 속도

Fig. 5. Experimental results: (a) tracking error. (b) steering angle and speed.

### 4. 결론

본 논문은 Stanley 제어 기법을 이용하여 소형 자율주행차량의 횡방향 제어 알고리즘을 구현하였고, 이를 실험을 통해 검증했다. 실험을 통해 경로 추종 오차가 낮아지도록 이득 상수  $k$ 를 설정했다. 또한, 경로 추종 오차의 실효값을 측정하여 구현한 횡방향 제어 알고리즘의 경로 추종 성능을 검증했다.

### 참 고 문 헌

[1] Y. Kebbati, N. A. Oufroukh, D. Ichalal, and V. Vigneron, "Lateral control for autonomous wheeled vehicles: A technical review," *Asian Journal of Control*, vol. 25, pp. 2539-2563, 2023.