

CARLA Simulator 에서 군집 주행 차량의 Pure-Pursuit Algorithm 에 관한 연구

윤민성, 김기천*
건국대학교, *건국대학교

tlssla0531@konkuk.ac.kr, *kckim@konkuk.ac.kr

Research on Pure-Pursuit Algorithm of platooning vehicles in CARLA Simulator

Yoon Min Seong, Kim Kee Cheon*
Konkuk Univ., *Konkuk Univ.

요 약

본 논문에서는 자율주행 차량의 조향을 제어하는 Pure-Pursuit Algorithm 에 관해 연구하였다. 더불어 군집 주행 차량에서 선행 차량과 추종 차량의 다른 알고리즘의 적용 방식에 대한 가설을 세웠다.

I. 서 론

경로 추종 알고리즘은 Pure-Pursuit 과 Stanley 등의 여러 알고리즘이 존재한다. 각 알고리즘에는 장단점이 존재해 특정 조건에 따라 사용해야 한다.

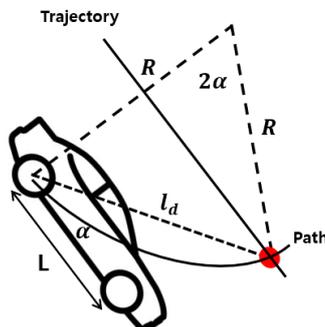
Stanley 알고리즘은 곡률이 큰 구간에서도 상대적으로 안정적인 주행이 가능하다. 하지만, 구현에서 Pure-Pursuit 알고리즘보다 복잡하다. CARLA Simulator 에서는 곡률이 큰 구간이 거의 존재하지 않는다. 최대 90°의 좌회전이나 우회전 등의 곡률만 제어하면 된다.

Pure-Pursuit 알고리즘은 곡률이 작은 구간에서 부드러운 경로 추종이 가능하지만, 경로가 급격히 변하는 경우 목표 지점 설정의 문제가 발생할 수 있다. 본 시뮬레이션 환경에서는 곡률도 적고, waypoints 의 조작이 가능하기 때문에 Pure-Pursuit 알고리즘을 선택했다. 차량을 현재 위치에서 전방 주시 지점(look ahead point)에 도달하도록 이동시키는 각속도 명령을 계산한다.

CARLA Simulator 에서 waypoints 경로를 생성해 경로를 따라 주행한다. 이 때, 경로는 급격히 변하지 않도록 1m 거리마다 생성해 차량을 제어하도록 했다.

II. 본론

본론은 Pure-Pursuit 알고리즘에 대한 설명, 실제 코드에서의 구현, waypoints 생성 등의 CARLA Simulator 의 설정으로 이루어진다.



[그림 1] Pure-Pursuit 알고리즘의 동작 과정

Pure-Pursuit 알고리즘은 차량의 후륜 축을 기준으로 움직인다. 본 연구에서 look ahead distance 는 차량의 위치와 목표 지점인 다음 waypoint 사이의 거리를 뜻한다. 이 거리는 본 논문에서 l_a 라 하겠다. 차체가 현재 가리키는 방향인 yaw 와 목표 지점까지의 예측선이 이루는 각도를 α , 이 때 생성된 원의 반지름은 R 로 나타낸다. 생성된 이등변삼각형에서 아래와 같은 수식을 도출할 수 있다.

$$\frac{l_a}{\sin 2\alpha} = \frac{R}{\sin\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right)}$$

$$R = \frac{l_a}{2 \sin \alpha}$$

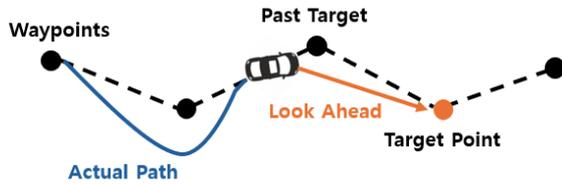
이 때, 아래의 수식과 같이 차량의 조향각인 δ 를 사용해서 R 을 표현하고 δ 를 구할 수 있다.

$$R = \frac{L}{\tan \delta}$$

$$\delta = \arctan\left(\frac{2L \sin(\alpha - yaw)}{l_a}\right)$$

실제 코드에서의 적용은 CARLA Simulator 에서 제공되는 yaw 값을 활용했다. Waypoints 는 차량이 목표 지점으로 설정된 waypoint 와 거리가 1m 이하가 되면 다음 waypoint 가 목표 지점으로 변경된다. 따라서 α 는 차량의 현재 지점과 목표 지점 사이의 각도인 α_{hat} 과 차량이 현재 가리키는 각도인 yaw 값의 차이로 결정된다.

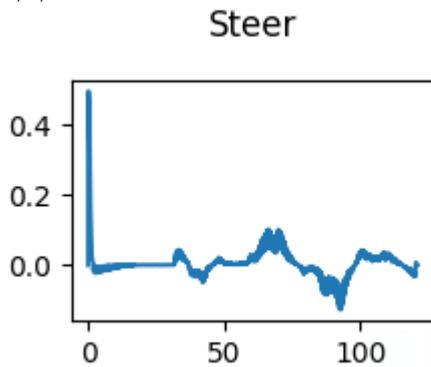
Look ahead distance 인 l_a 또한, 현재의 속도에 따라서 결정될 수 있도록 했다. 이는 현재의 속도가 향후 제어에 적용되기 때문에 feedback 제어이다. l_a 의 기본 설정은 2m 로 설정했다. Waypoint 사이의 거리는 1m 이고, 차량이 목표 지점 waypoint 에서 1m 전의 위치에 위치되면, 다음 waypoint 가 목표 지점으로 변경된다.



[그림 2] look ahead distance 의 설정

따라서 최소 l_a 의 길이는 2m 가 되어야 한다. 하지만, 차량의 속도가 빠를수록 제어는 어려워지므로 본 논문에서 l_a 의 길이가 늘어나도록 설정했다. 비례 상수 k 인 0.1 을 차량의 속도인 v 와 곱했다. 따라서, 최종 look ahead distance 는 $k * v + l_a$ 로 설정했다.

이를 통해 CARLA Simulator 에서의 steering 제어는 완벽하게 성공할 수 있었다. 실제 CARLA Simulator 에서의 steering 명령은 최소 -1.0, 최대 1.0 에서 이루어지기 때문에 각도 δ 를 라디안 값으로 변경해 적용했다. 실제 CARLA Simulator 에서 차량 조향의 변화 그래프가 [그림 3]이다.



[그림 3] CARLA Simulator 에서의 조향 변화

III. 결론

본 논문에서는 자율주행에서 차량의 steering 인 조향 각을 결정하는 Pure-Pursuit 알고리즘에 대한 설명과 실제 코드에서의 적용을 다룬다. 본 논문에서는 단순히 현재 속도를 바탕으로 비례 상수를 적용해 steering 까지 제어했다. 그 결과, 차량은 경로를 따라 steering 값도 맞춰서 제어한다. 하지만, 오실레이션이 꾸준히 발생한다는 단점이 있었다.

다음 연구는 오실레이션의 최소화를 이를 예정이다. 단순한 비례 제어만이 아닌, PID 제어를 사용해 더 정밀한 제어를 사용할 예정이다. 또한, steering 각도나 경로의 각도에 따라 Stanley 알고리즘의 동시 사용도 예상 중이다.

군집 주행에서 선두 차량의 Pure-Pursuit 알고리즘은 위와 같은 방식으로 이루어질 예정이다. 하지만, 추종 차량의 steering 제어 알고리즘은 다를 것이다. 선두 차량의 제어를 그대로 받아온다면, 추가로 계산해야 하는 연산량이 적어지기 때문에 CPU 의 최적화를 이룰 수 있다. 추종 차량만 신호에 걸려 선두 차량과의 거리가 멀어지거나 중간에 다른 차량의 합류가 있다면, 추종 차량도 별도의 알고리즘이 필요할 것이다. 이러한 요구 조건을 분석하고, 실제 CARLA Simulator 에서 적용해 군집 주行的 구현을 보이고 싶다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-학·석사연계 ICT 핵심인재양성 지원을 받아 수행된 연구임(IITP-2024-RS-2020-II201834)

참 고 문 헌

- [1] Pure Pursuit 제어기, (<https://kr.mathworks.com/help/nav/ug/pure-pursuit-controller.html>).
- [2] Samuel, Moveh, Mohamed Hussein, and Maziah Binti Mohamad. "A review of some pure-pursuit based path tracking techniques for control of autonomous vehicle." *International Journal of Computer Applications* 135.1 (2016): 35-38.
- [3] Park, Myung-Wook, Sang-Woo Lee, and Woo-Yong Han. "Development of lateral control system for autonomous vehicle based on adaptive pure pursuit algorithm." *2014 14th international conference on control, automation and systems (ICCAS 2014)*. IEEE, 2014.
- [4] 주형진(Hyungjin Joo), and 이기범(Kibeom Lee). "Pure-Pursuit 알고리즘의 피드백 제어 이득과 전방주시거리 설계에 따른 자율주행 자동차의 경로 추종 성능 변화." *한국 자동차공학회논문집* 29.9 (2021): 839-846.