

# 클로소이드(Clothoid)를 사용한 주차 경로 후-처리를 통한

## 경로 추종 오차 및 승차감 개선

안 준 우<sup>1)</sup>·김 민 수<sup>1)</sup>·박 재 흥<sup>\*1), 2)</sup>

서울대학교 지능형정보융합과<sup>1)</sup>, 차세대융합기술원<sup>2)</sup>

### Parking Path Post-Processing Using Clothoid

### to Improve Path Tracking Errors and Ride Comfort

Joonwoo Ahn<sup>1)</sup> · Minsoo Kim<sup>1)</sup> · Jaeheung Park<sup>\*1), 2)</sup>

Seoul National University<sup>1)</sup>, Advanced Institutes of Convergence Technology<sup>2)</sup>

**Key words** : 자율 주차(Automated Parking), 경로 후-처리(Path Post-processing), 연속적인 곡률 (Continuous Curvature), 클로소이드(Clothoid), 카나야마 경로 추종(Kanayama Path Tracking)

\*Corresponding Author, E-mail: park73@snu.ac.kr

최근 자율 주차 기술이 활발히 연구되고 있다. 다양하고 복잡한 상황에서 주차 경로를 생성하기 위해 Hybrid-A\* 혹은 RRT\* (Rapidly-exploring random tree\*) 알고리즘들을 이용하여 경로를 생성할 수 있다. 이 알고리즘들은 주차 시작 지점에서 주차할 지점에 도달할 때까지 장애물이 없는 지점에 트리를 확장해 나가면서 경로를 생성한다. 트리를 확장할 때, 트리의 노드(node)와 노드 사이 경로는 차량의 non-holonomic 제약 조건을 만족해야 하며 최단길이를 가진다. 이 때, 계산시간을 줄이기 위해서 단순화된 확장모델인 Reed-shepp curve를 사용한다. 이 curve는 최소회전 반경을 가지는 원과 직선의 조합으로 경로를 생성한다. 그러나, 원과 원 그리고 직선과 원이 만나는 지점의 곡률이 연속적이지 않다. 게다가, 두 Reed-shepp curve가 만나는 지점에서의 곡률도 불연속하다.

생성된 경로의 곡률이 불연속한 경우, 두가지 문제점이 존재한다. 첫번째로, 불연속한 지점에서 추종 오차가 발생한다. 이 이유는, 이 지점에서 곡률의 변화가 크며, 곡률을 따라가기 위해 제어되는 차량의 조향각이 순간적으로 크게 변할 수 없기 때문이다. 예를 들어, 차량이 최소회전 반경을 가지는 원을 추종하고 있다가 직선을 추종하게 되었을 때, 원을 추종하는 조향각과 직선을 추종하기 위한 조향각간 차이가 순간적으로 크게 발생하게 되고 조향각이 회전하는데 시간이 필요하기 때문에 직선 경로를 벗어나게 된다. 이 때, 두번째 문제인 승차감이 좋지 못한 문제가 발생한다. 경로에 수렴하기 위해 순간적으로 조향각이 크게 변하게 되고 제어 성능에 따라서 진동(oscillation)이 발생할 수 있다.

생성된 경로의 곡률을 연속적으로 만들기 위해, 본 연구에서는 클로소이드(clothoid)를 이용하여 경로를 후처리한다. 클로소이드는 곡선 길이에 비례하여 곡률이 증대하는 성질을 가진 곡선으로, 차량이 등속주행시 등각속도로 핸들을 회전할 수 있다. 따라서, 조향각이 갑자기 크게 변하는 경우가 없어진다. 생성된 경로에서 전/후진 전환지점을 기준으로 경로 세그먼트(segment)를 나눠 각 세그먼트 별로 클로소이드를 적용한다. 예를 들어, 주차 시작 지점에서 주차할 지점까지 경로를 생성하였을 때, 전/후진이 한번 발생되었다면 2개의 경로 세그먼트가 생성된다. 각 세그먼트의 시작 지점 자세(pose)에서 끝 지점의 자세까지 클로소이드를 적용한다.

제안한 방법의 효율성을 보이기 위해, 본 연구에서는 CARLA 시뮬레이터를 이용하여 주차장 환경을 구성하였다. 경로 생성은 RRT\*를 이용하였고 경로 생성 결과는 Fig. 1 상단에 흰색 선으로 나타나 있다. 이 경로에 클로소이드를 적용한 경로는 녹색 선으로 표시되어 있다. 곡률 비교를 하였을 때, 기존 경로는 곡률이 차량의 최소 회전 반경을 가지는 최대 곡률이었다가, 직선이 되는 지점에서 순간적으로 곡률이 0이 된다. 클로소이드를 적용한 경우, 전/후진이 전환되는 구간을 제외하고 곡률이 급격히 변하는 경우는 없었다.

카나야마(Kanayama) 경로 추종기를 이용하여 경로를 추종하였다. Fig. 1 좌측 그림에서 빨간색 선이 차량이 지나간 궤적이다. 추종 성능을 보기위해 cross-track error를 측정하였다. 여기서, cross-track error는 차량과 차량에서 가장 가까운 경로간 거리이다. 단순 RRT\* 경로를 추종한 경우, cross-track error의 평균값이 0.05 m, 클로소이드를 적용한 경로를 추종한 경우 0.02 m 발생하였다.

추종을 하면서, 조향각 제어 입력을 시간에 따라 그래프화 하였다. Fig. 1에 빨간색선으로 표시된 그래프에서 결과를 볼 수 있다. 단순 RRT\* 경로를 추종하였을 때, 조향각의 변화량이 빈번하고 크게 일어났다. 특히, 그래프 x축(time)이 27 초 결과를 보면 경로가 원에서 직선으로 바뀌는 순간이며, 경로에서 벗어나면서 카나야마의 feedback term의 작용이 순간적으로 커지면서 oscillation이 일어났다. 이와 다르게, 클로소이드를 적용한 경로를 추종하였을 때, 조향각의 변화가 점진적으로 커졌으며, 전/후진 전환지점을 제외하고는 순간적으로 크게 변하는 경우가 없었다. 속도는 곡률에 반비례하게 커지도록 하였으며, 범위는 -4 ~ 4 km/h이다. 속도 제어 입력을 그래프화 한 결과, 클로소이드 경로를 추종하였을 때, 전/후진 전환지점을 제외하고는 순간적으로 크게 변하는 경우가 없었다.

제안한 방법은 RRT\*와 같은 탐색기만 주차 경로에 클로소이드를 적용하여 곡률의 변화량을 연속적으로 한다. 이를 카나야마 제어기로 추종하였을 때, 제어 입력의 연속적으로 변화하여, 경로를 낮은 오차로 추종할 수 있었고 또한 승차감을 개선할 수 있다. 이 연구는 Phantom AI 회사의 지원을 받아 진행되었다.

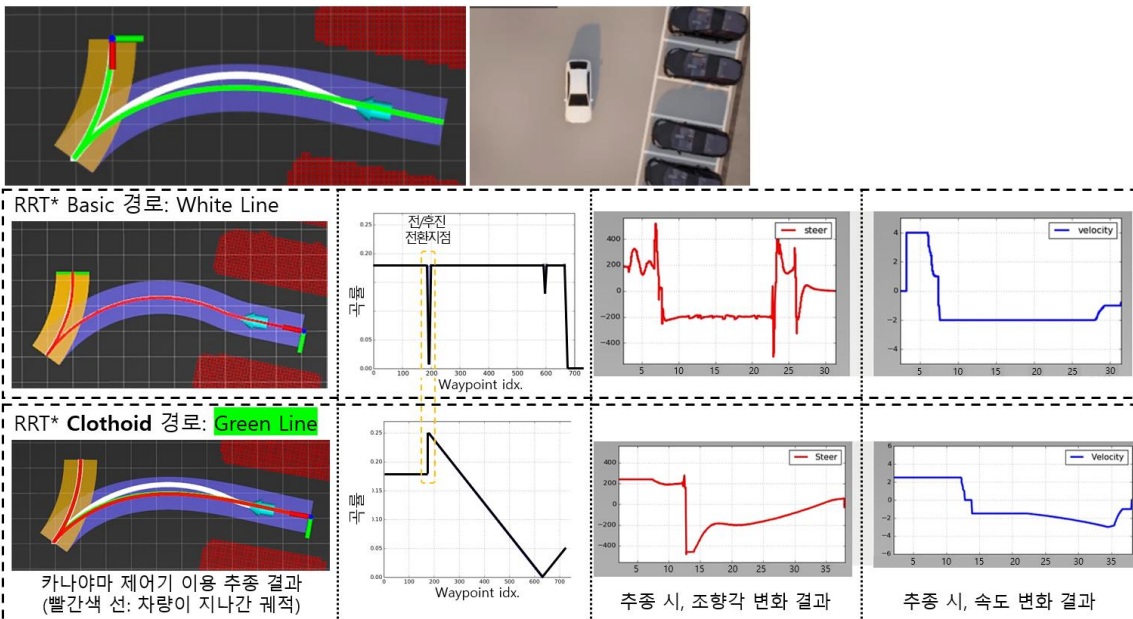


Figure. 1 기존 RRT\* 주차경로와 클로소이드를 이용하여 후-처리를 적용한 경로 비교. 카나야마 제어기로 추종 및 결과 (왼쪽 그림에서 빨간색 궤적), 곡률, 제어 입력 (조향 및 속도 변화)