

교차로에서의 자율주행을 위한 베지어 곡선 기반 경로 계획

Bezier Curve-Based Path Planning for Autonomous Navigation in Intersection

*이상훈¹, 전창묵², #강성철

*S. H. Lee¹, C. M. Chun², #S. C. Kang(kasch804@gmail.com)²

¹ 한국과학기술연구원 인지로봇센터

Key words : Unmanned ground vehicle, outdoor navigation, bezier curve, motion planning

1. 서론

최근 무인화에 대한 관심이 급증하면서 자율주행차량의 주행성능을 향상시키는 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 주행 중 판단의 신속성과 정확성 향상이 주요한 핵심으로 떠오르면서 빠르고 신뢰성 있는 주행 알고리즘에 대한 관심이 높아지고 있다. 그 중에서도 차선, 연석과 같은 도로표식이 없는 교차로 구간에서 안전한 경로를 생성하는 기술에 대한 필요성이 대두되는 추세이다. 이에 본 연구에서는 대표적인 경로 생성 방법인 베지어 곡선을 적용하여 교차로 구간에서 주행 가능한 최적 경로를 생성하는 연구를 수행하였다.

2. 경로 계획 시스템

2.1 베지어 곡선

(n-1)차 베지어 곡선은 De Casteljau 의 알고리즘을 이용하여 n 개의 조절점들을 재귀적으로 선형 보간하여 얻어지는 곡선이며, 번스타인 기저 다항식을 이용하면 아래와 같이 닫힌 형태의 방정식으로 기술된다:

$$P(t) = \sum_{i=0}^n B_i^n(t) P_i, B_i^n(t) = \binom{n}{i} (1-t)^{n-i} t^i, t \in [0, 1] \quad (1)$$

베지어 곡선을 이용한 경로 계획은 다른 방법에 비해 처리 속도가 빠르고 특별한 초기 조건이 없기 때문에 알고리즘 구성이 단순하다. 또한, 단순한 형태의 곡선을 생성하기 때문에 실제로 차량이 주행할 수 있는 경로로 적용할

수 있다.

2.2 경로 생성

본 연구에서는 4 개의 조절점을 갖는 3 차 베지어 곡선을 이용하여 차량의 경로를 생성한다.

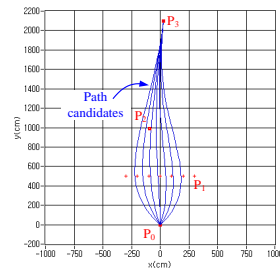


Fig. 1 Generation of path candidates

그림 1 의 P_0 는 곡선의 시작점으로 자율주행차량의 현재 위치를 나타낸다. P_2 와 P_3 는 앞으로 지나야 할 경유점을 이용하며, 이들 위치는 모두 직교좌표상에서 표현된다. P_1 은 적응성 조절점으로, 차량의 최대 회전반경과 다음 경유점과의 거리 등을 이용해 실시간으로 위치를 바꾼다.

적응성 조절점의 핵심은 현재 위치에서 목표까지 도달하는 다양한 경로를 생성하는 것과 위치오차로 인한 경유점 갱신 실패를 최소화시킨다는데 있다. 이에 본 연구에서는 총 7 개의 적응성 조절점을 이용하여 경로 생성을 수행한다. 각 경로는 이하 후보경로라 칭한다.

2.3 경로 계획

후보경로들 중 최적경로를 찾기 위해 아래의 목적함수를 최소화하는 경로를 선택한다.

$$C_i = \sum \left(\sum \frac{w_p}{d_{j|p}} \right) \cdot l_i + \frac{\phi_{\max}}{\phi_{ref}} + \frac{(d_{j|p})_{\max}}{(d_{j|p})_{ref}} \quad (3)$$

식(3)의 첫째 항은 주변 장애물과 차량 사이의 거리 차이를 고려한 것이다. 식(3)에서는 후보경로를 j 개의 점의 집합으로 근사화하여 계산한다. w_p 와 $d_{j|p}$ 는 레이저 스캐너를 이용한 환경 인식 정보를 바탕으로 결정되는데, w_p 는 차량과 주변 장애물과의 거리 차이, $d_{j|p}$ 는 후보경로와 주변 장애물과의 거리 차이를 나타낸다. 최단 경로에 가중치를 주기 위하여 후보경로의 길이인 l_i 를 첫째 항에 추가하였다. 둘째 항은 후보경로의 곡률을 고려한 것으로, ϕ 는 후보경로의 최대 곡률을 나타낸다. 마지막으로 셋째 항은 장애물과의 충돌을 고려한 것이다.

3. 자율주행차량 구성

그림 2 는 실험에 사용된 무인차량 KUBE(KIST unmanned vehicle electric)이고, SICK 사의 LMS291 레이저 스캐너 두 대가 설치되어 차량 전방과 지면을 인식한다.



Fig. 2 Unmanned vehicle KUBE for experiments

4. 실험 및 결과

알고리즘의 성능 검증을 위하여 KIST 구내 교차로에서 자율주행 실험을 했다. 그림 3 은 교차로의 좌회전 구간에서 최적 경로를 찾은 결과를 나타낸다. 차량의 현재 위치는 (0,0)에 해당하고 다음에 지나야 할 경유점은 (-850, 1750)에 존재한다. 그리고 자율주행차량은 적응성 조절점들을 이용하여 7 개의

후보경로를 생성한다. 후보경로들 중 장애물과 충돌하는 경로는 4 개이고, 나머지 3 개들 중 비용이 최소화되는 경로를 최적 경로로 선택하였다.

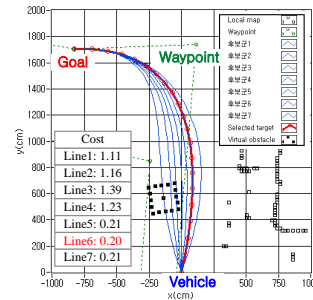


Fig. 3 Motion planning in intersection

5. 결론

본 연구에서는 베지어 곡선을 이용한 최적 경로 생성 방법을 제안하였다. 그리고 실제 자율주행차량에 적용하여 알고리즘의 신뢰성을 검증하였다.

실험 결과, 적응성 조절점 방식으로 베지어 곡선을 그림으로써 현재 위치에 적합한 후보 경로를 생성하였고, 실시간으로 얻은 환경 정보를 이용하여 최적 경로를 찾기 때문에 주행 안전성을 획기적으로 높일 수 있었다.

향후 보다 안전한 주행을 위해서는 동적 장애물의 이동을 예측하여 이를 비용 계산에 반영하는 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Gerald Farin, "Curves and Surfaces for CAGD," Academic Press, 1996
2. Choi, J., Curry, R., Elkaim, G., "Continuous Curvature Path Generation Based on Bezier Curves for Autonomous Vehicles," IAENG International Journal of Applied Mathematics, 40:2, 2010.
3. 전창목, 서승범, 이상훈, 노치원, 강성철, 강연식, "KUBE(KIST 무인 주행 전기 자동차)의 자율 주행," 제어로봇시스템학회, 16:7, 617-624, 2010.