

학습 기반 자율주행 제어 보조 모듈 설계

한경석*

*경북대학교

*kyoungsh@knu.ac.kr

Learning-based autonomous driving control auxiliary module design

Kyoungseok Han*

*Kyungpook National Univ.

요 약

본 논문은 자율주행 강인 제어 알고리즘의 보조를 위한 보조 모듈을 학습 기반으로 설계하였다. 강화학습 등 학습 기반의 제어 정책 (Control Policy) 설계에 관한 연구가 활발한데, 자율주행의 경우 학습되지 않은 주행환경을 마주했을 때 그 성능을 보장 할 수가 없다. 또한 기업마다 고유 기술을 기반으로 제어기가 이미 설계되어 있기 때문에 제어기 자체를 완전히 새롭게 설계하는 것 보다 기 설계된 제어기를 그대로 활용하면서 제어기로 부터 결정된 제어 출력을 필터링할 수 있는 보조 모듈을 제안하고자 한다. 본 논문에서 제안하는 추가모듈은 어떤 제어기에도 추가 될 수 있으며 충돌을 측면에서 전체 제어 성능을 향상 시킴을 확인하였다.

I. 서 론

본 논문에서는 자율주행 강인 제어 알고리즘 개발에 있어서, 이를 보조하는 개념의 추가 모듈을 설계한다. 자율주행 연구는 산학연에서 활발하게 진행되고 있으나, 각 연구기관에서는 고유의 보유 기술을 기반으로 제어기를 설계하므로 같은 주행상황이라도 자율차는 다른 액션을 취할 가능성이 존재한다. 즉, 모든 주행 상황에 강건한 제어기 설계가 목표지만 이를 실현하는게 어려운게 사실이다.

또한 대부분의 자율주행 연구는 기업이 선도하므로 학계에서 개발된 제어기를 도입하는 것이 쉽지 않다. 따라서 본 논문에서는 디폴트 제어기는 그대로 사용하고, 이를 보조하는 추가 모듈을 학습기반으로 개발한다. 대부분의 주행상황에서는 디폴트 제어기가 올바른 선택을 할 것이지만, 자율차가 마주하지 않았던 상황을 마주했을 때는 추가된 모듈이 활성화되어서 사고를 방지한다.

추가된 모듈은 Action Governor 라고 명명되는데, 디폴트 제어기에서 선택된 액션을 필터링한다는 의미고 이는 학습기반으로 설계된다 [1]. 즉, 주행시뮬레이터를 활용하여 위험 주행상황을 충분히 학습하여 특정 주행상황에서 bad action 들을 action governor 버퍼에 저장 후 실제 주행시 action governor 버퍼의 bad action 을 필터링한다.

본 추가 모듈을 도입한다면, 어떤 디폴트 제어기와도 결합가능하여 제어 성능을 보조할 수 있으며 제어기를 설계한 기업의 입장에서 부담없이 도입할 수 있을 것으로 예상된다.

II. 본론

본 논문에서 제안되는 Action Governor 를 학습시키기 위해서는 적절한 주행 환경을 제공해주는 주행 시뮬레이터가 필요하다. 본 논문에서는 기 개발된 2 차선 혹은 3 차선 고속 주행상황에서의 주행 시뮬레이터를 활용한다[2].

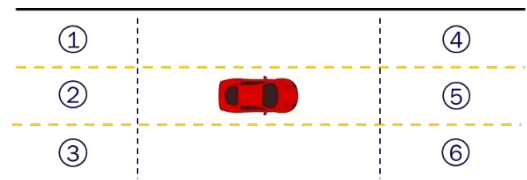


그림 1. 관측가능 공간 정의

그림 1 과 같이 자율주행차가 관측 가능 공간의 총 6 개의 공간으로 나누는데, 각 공간에 위치한 차량과의 상대 속도, 상대 위치 등을 고려하여 자율 주행차와 관계를 정의한다. 예를 들어 1 번위치의 차량이 자율차와 거리가 멀고 (상대거리), 자율주행차에 접근하는 중 (상대속도) 등과 같은 정의를 할 수 있고, 자율차는 6 개의 공간에 대한 상대거리/위치를 한번에 센싱하기 때문에 아래와 같은 메시지의 개념으로 현재 주행상황을 정의 할 수가 있다.

Distance: $d_{TV} \leq d_{th}^1 \rightarrow \text{close}$ Speed: $|v_{TV}| \leq v_{th}^1 \rightarrow \text{approaching}$
 $d_{th}^1 < d_{TV} \leq d_{th}^2 \rightarrow \text{nominal}$ $v_{th}^1 < |v_{TV}| \leq v_{th}^2 \rightarrow \text{stable}$
 $d_{th}^2 < d_{TV} \rightarrow \text{far}$ $v_{th}^2 < |v_{TV}| \rightarrow \text{moving away}$

여기서 d_{TV} , v_{TV} 는 상대 위치 및 속도, d_{th} , v_{th} 는 위치 속도에 대한 threshold 를 나타낸다.

즉 한 공간에 상대위치/속도에 대한 $3 \times 3=9$ 가지의 조합이 가능하고, 총 6 개의 공간에 대해 정의가 필요하므로 메시지의 경우의 수는 9^6 이 된다. 이와 같은 조합이 자율주행차가 센싱할 수 있는 메시지를 나타내는 최대의 수라고 할 수 있고, 모든 교통상황은 이와 같은 메시지로 표현 할 수있다고 가정한다.

다음으로는 임의의 Default Control Policy 를 사용하여 주행시뮬레이터 내에서 Action Governor 를 학습시킨다. 그림 2 가 본 연구에서 제안하는 전체 제어 블록다이어그램이고, Action Governor 가 Default Control Policy 뒤에 추가된 것을 확인 가능하다.

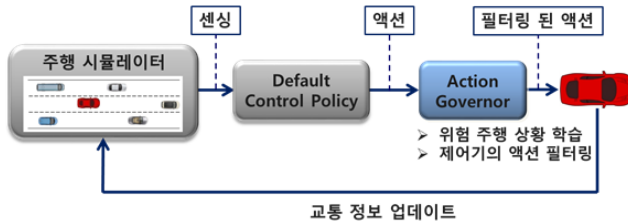


그림 2. Action Governor 가 추가된 제어 블록다이어그램

제안된 Action Governor 를 활용했을 때, 그림 3,4 로부터 어떤 디폴트 제어기에 추가하여도 일정 성능이 향상됨을 확인 할 수있다. 3 차선 고속 도로에서 제한조건을 위배하는 비율이 두 Case 모두에서 향상됨을 확인 가능하다. 두 그래프의 x 축은 주변 차량의 수를 나타내고, 교통량 많을 수록 상호작용이 많이 일어나기 때문에 제한조건 위배 비율이 높아지는 것을 확인 가능하다.

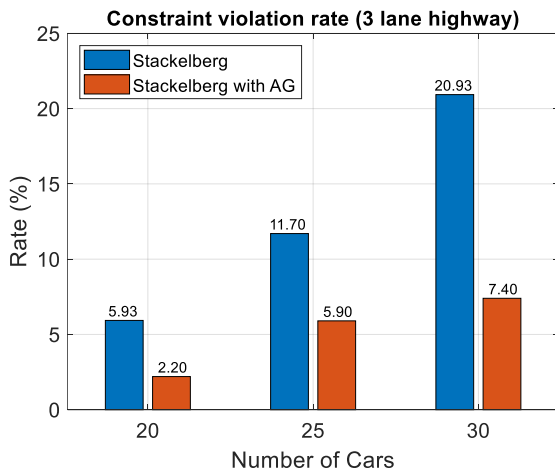


그림 3. Stackelberg 제어기와 Action Governor 결합시 성능 비교

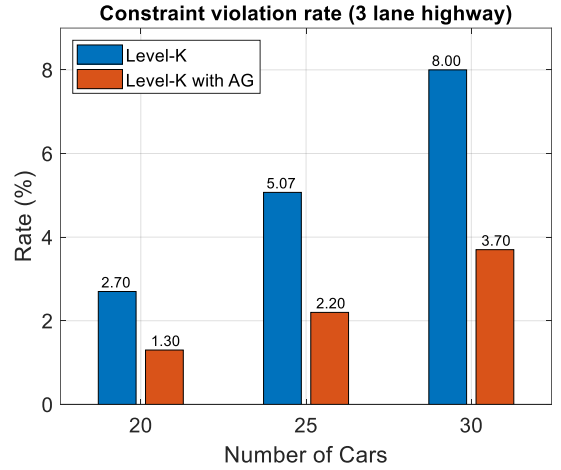


그림 4. Level-K 제어기와 Action Governor 결합시 성능 비교

III. 결론

본 논문에서는 디폴트 제어기를 보조하는 개념의 학습기반 추가 모듈을 설계하는 기법에 대해 제안하였다. 기 개발된 주행시뮬레이터 상에서 Action Governor 를 설계하여, 디폴트 제어기 대비 그 우수성을 검증했다. 하지만 현재는 연속 제어 입력을 다루지 않았고 차량 동역학이 고려되지 않았기 때문에, 실제 주행환경과 동일한 학습환경에서 학습이 되어야 하는 점에 위배된다. 향후에는 상용 소프트웨어 등을 활용하여 차량동역학 및 연속제어 입력 등을 고려하여 보다 신뢰성 높은 Action Governor 를 수정/보완 하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020R1G1A1099830, 2020K1A3A1A39112277)

참 고 문 헌

- [1] Li, N., Han, K., Girard, A., Tseng, H.E., Filev, D. and Kolmanovsky, I., 2021. Action Governor for Discrete-Time Linear Systems with Non-Convex Constraints. IEEE Control Systems.
- [2] Li, N., Oyler, D.W., Zhang, M., Yildiz, Y., Kolmanovsky, I. and Girard, A.R., 2017. Game theoretic modeling of driver and vehicle interactions for verification and validation of autonomous vehicle control systems. IEEE Transactions on control systems technology, 26(5), pp.1782-1797.