

다관절 로봇팔을 위한 모방학습 기반 역기구학 해석 기술에 관한 연구

최진철, 박찬원, 박준희

한국전자통신연구원

{spiders22v, cwp, juni}@etri.re.kr

A Study on Imitation Learning-based Inverse Kinematics Analysis for multi-joint robot manipulators

Jinchul Choi, Chan-Won Park, Jun Hee Park

Electronics and Telecommunications Research Institute

요약

본 논문은 다관절 로봇팔 제어를 위한 모방학습 기반의 역기구학 해석 기술을 제안한다. 제안기술은 로봇팔을 제어하는 시연 데이터셋을 모방하는 행동정책을 학습함으로써 로봇팔 말단부를 임의의 공간 좌표에 위치시키기 위한 다관절 제어값을 별도의 역기구학 모델 없이 도출할 수 있게 해 준다.

I. 서론

기구학(Forward Kinematics)은 로봇의 각 관절의 움직임에 따라 말단부(end-effector)의 공간좌표가 어떻게 변하는지를 분석하는 것이다. 대조적으로 역기구학(Inverse Kinematics)은 말단부가 특정 좌표에 위치하기 위한 관절 제어값을 도출하는 기법이다. 역기구학을 위해서는 기하학법, 대수행렬법, 자코비안 등이 활용되고 있으나, 계산이 복잡하고 로봇의 형태와 목표점에 따라 해답 도출에 실패하는 경우도 많다[1].

본 논문에서는 로봇팔 말단부를 특정 좌표에 도달시키는 다수의 시연 데이터를 모방학습함으로써 임의의 좌표에 말단부를 도달시키기 위한 관절값 결정 기법을 제안한다.

II. 본론

본 논문에서는 마코프 결정 프로세스(Markov Decision Process) (MDP)라는 확률 모델로 문제를 표현한다. 학습을 위한 시연 데이터셋은 일련의 궤적 $T = \{\tau_1, \tau_2, \dots\}$ 으로 표현되며, 각 궤적 $\tau = \{(x, y, z), (s_1, a_1), (s_2, a_2), \dots\}$ 는 목표 공간좌표와 일련의 상태(s)-행동(a)쌍으로 구성된다. 여기서 상태 s 는 각 관절의 상태값(joint position)이며, 행동 a 는 변경해야 할 각 관절의 상태값이다. 본 논문의 목표는 로봇팔의 관절 상태가 s 일때 말단부가 목표좌표 (x, y, z) 에 도달하기 위해 취해야 하는 행동 a 를 도출하는 정책 $\pi(a|s, (x, y, z))$ 을 학습하는 것이다.

시연 데이터셋은 행동복제 기법을 통해 학습된다. 행동복제는 시연 데이터셋의 행동-상태 매핑 정보를 이용하여 시연자의 행동을 재연하는 일련의 규칙을 직접 도출한다. s_t^E 와 a_t^E 를 각각 t 시간에서의 시연 데이터셋 상태와 행동이라고 하면 학습모델의 출력인 a_t 를 결정하는 손실함수 L 은 다음과 같다.

$$L = \sum_{(s_t^E, a_t^E) \in B} \|a_t^E - a_t\|_2^2. \quad (1)$$

여기서 B 는 에피소드 버퍼(Episodic Buffer)이다.

III. 실험 결과

시연 데이터셋 획득과 학습모델의 테스트는 CoppeliaSim과 RLBench 프레임워크[2] 환경에서 6개의 회전관절 자유도(DoF)를 가진 UR3로봇을 이용하여 시뮬레이션되었다. 각 관절은 $\pm 360^\circ$ 범위의 상태공간(state space)과 행동공간(action space)을 가지며, 특정 공간 위치로 로봇암의 말단부를 위치시키는 작업(Reach fixed target)과 $20 \times 20 \times 20 \text{cm}^3$ 공간상에서 임의의 위치에 말단부를 위치시키는 작업(Reach random target) 등의 연속 제어 작업을 수행하였다. 그림 1은 시연 데이터량에 따른 모방학습 모델의 작업 성공률을 보여준다. 테스트에는 20k epoch을 학습한 모델이 사용되었으며, 100회의 에피소드를 반복하여 성공률을 측정하였다.

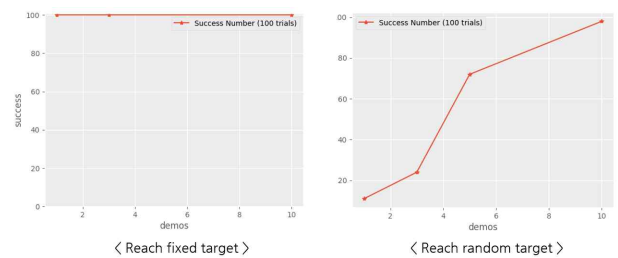


그림 1. 시연 데이터량에 따른 작업 성공률(%)

IV. 결론

본 논문에서는 모방학습을 통해 다관절 로봇팔의 역기구학을 해석하는 방법을 제안하였다. 실험 결과는 시연 데이터셋의 모방학습을 통해 임의의 공간좌표에 도달하는 로봇팔 관절제어가 가능함을 보여주었다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구 논문은 한국전자통신연구원 연구운영지원사업의 일환으로 수행되었음. [21ZR1100, 자율적으로 연결·제어·진화하는 초연결 지능화 기술 연구]

참고문헌

- [1] A. Almusawi, L. Dülger and S. Kapucu, "A New Artificial Neural Network Approach in Solving Inverse Kinematics of Robotic Arm," Comput. Intell. Neurosci. Article No. 5720163, 2016.
- [2] S. James, Z. Ma, D. R. Arrojo and A. J. Davison, "RLBench: The Robot Learning Benchmark & Learning Environment," arXiv preprint Xi1909122712019.