

매니퓰레이터 로봇의 작업을 위한 LLM 기반 로봇 궤적 템플릿 생성 연구

김정우¹, 강동엽², 동지연², 박찬은^{1*}

¹ 경북대학교, ² 한국전자통신연구원

aslt1004@knu.ac.kr / kang@etri.re.kr / jydong@etri.re.kr / chaneun@knu.ac.kr

LLM-based robot trajectory template generation for manipulator robot tasks

Jeongwoo Kim¹, Dongyeop Kang², Jeyoun Dong², Chan-eun Park^{1*}

School of Electronics Engineering, Kyungpook National University¹,
Electronics and Telecommunication Research Institute²

요 약

본 논문은 로봇 매니퓰레이터를 통해 다양한 작업을 쉽게 구성하기 위한 방법으로 로봇 궤적 템플릿에 기반한 로봇 작업 구현을 목표로 한다. 로봇 작업에 범용적으로 활용될 수 있는 기본 궤적을 템플릿으로 구현하기 위하여 대형 언어 모델(Large Language Model, LLM)을 활용하여 로봇 궤적 템플릿을 함수로 구현하는 방법을 제시한다. 제안하는 방법을 통해 사용자의 교시 및 시연 없이 로봇 궤적을 생성하고, 이를 시뮬레이터에 적용하여 그 유효성을 검증하였다. 또한 궤적 템플릿의 조합으로 복잡한 로봇 작업을 쉽게 구현하는 방법을 검증하여 본 연구의 활용성을 제시한다.

I. 서론

산업용 작업에 주로 활용되어오던 로봇 매니퓰레이터는 최근 의료, F&B (Food and Beverage) 분야 등의 작업으로 활용성을 높여가고 있다. 이를 위해 각 분야별 로봇 작업에 적합한 궤적을 전문가가 설정 후 로봇이 반복 작업을 수행하는 방식을 통해 치킨 조리, 커피 제조 등의 다양한 작업이 수행되고 있다. 전문가 기반의 로봇 궤적 지정 방법은 일반 사용자들이 사용하기 어렵다는 한계점이 존재한다. 이를 극복하기 위하여 많은 로봇 제조사들이 외부 리모컨, 교시 디바이스[1], 사용자 모사[2] 등을 활용하여 로봇 작업 지시의 난이도를 개선시키기 위해 노력하고 있다.

한편, ChatGPT를 비롯한 다양한 생성형 AI의 보급에 따라 대형 언어 모델(LLM)을 활용하여 추상적인 인간의 언어로 된 명령을 로봇에게 적용하기 위한 연구가 HRI(Human-Robot Interaction) 등 다양한 분야에서 활발하게 진행되고 있다.

본 논문에서는 로봇 매니퓰레이터를 활용한 다양한 작업을 사용자가 직관적으로 구현할 수 있도록 로봇의 작업에 주로 사용되는 궤적을 템플릿으로 구성하고, LLM을 이용하여 이를 로봇 구동용 함수로 구현하는 방법을 소개한다. 생성된 궤적 템플릿의 결과를 시뮬레이터를 통해 확인하고, 이를 응용하여 실제 로봇 작업에서 필요로 하는 다양한 로봇 작업의 모사 시뮬레이션을 통해 제안하는 방법의 유효성을 검증하였다.

II. 본론

2.1 궤적 템플릿 구성

로봇의 작업에서 필요로 하는 궤적들을 분석하여 기본적으로 활용될 수 있는 특정 궤적들을 템플릿 후보로 선정하였다. 아래 그림(Fig. 1)은 궤적 템플릿의 예시이다.

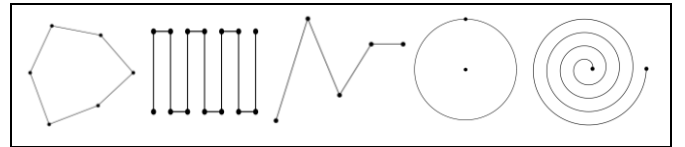


Fig.1 example of trajectory template used

선정된 궤적 템플릿은 다음과 같이 두가지 특성으로 분류될 수 있다.

A) 로봇 궤적의 경유점들을 직선으로 이어주는 형태.
(예: 직선, 갈지자(之), 단힌 다각형, 열린 다각형 등)

B) 로봇 궤적의 기하학적 특성을 반영하는 형태.

(예: 원형, 원호형, 나선형 등)

A)와 같은 궤적에서는 선이 꺾이는 지점들을 입력인자로 사용하며 입력인자들을 연결하는 방식으로 궤적을 생성할 수 있다.

B)와 같은 궤적에서는 바탕이 되는 원의 중심과 반지름을 입력해두고, 반원과 호에서는 궤적으로 할 각도의 범위, 나선모양의 경우에는 지정된 크기의 원 내부에서 몇 바퀴 회전할 것인지 추가로 입력인자로 사용하였다. 이 때, 로봇이 목표로 하는 작업공간의 차원을 명확히 지정할 필요가 있다.

(나선형 궤적 생성 프롬프트 예시) In a 3D space, I want to create a trajectory that moves in a spiral pattern filling the inside of a circle centered on this point in a plane with a fixed z-axis. The spiral should make approximately five turns within the circle of a specified radius. Please create a Python function that takes the point and time as input, generates the trajectory, displays the specified point, and returns the current position on the trajectory.

2.2 LLM 기반의 궤적 템플릿 활용

본 논문에서 사용한 시뮬레이션의 위치제어가 작동하는 로봇에 적용하기 위하여 3 차원(x, y, z)좌표 상에서 생성된 궤적함수의 좌표를 end effector 가 추종하도록 설정하여 시뮬레이션 하였다.

LLM 프롬프트를 통해 생성된 템플릿의 궤적 함수를 호출하고 조합하여 궤적 추종 시뮬레이션을 하도록 구성했다. 특정 복잡한 작업을 수행하기 위해 새로운 작업 전체의 궤적을 생성하는 것 보다 템플릿의 기본동작 궤적들을 연계하여 복잡한 작업으로 완성하는 방식이 작업 궤적을 더 쉽게 구현할 수 있기 때문이다.

III. 시뮬레이션

로봇 시뮬레이션을 위해 MuJoCo 시뮬레이터 환경에서 Franka Emika 사의 Panda 로봇을 사용하였고, Open AI 사의 ChatGPT-4o 모델을 통해 궤적 템플릿 함수 구현 후 이를 시뮬레이션을 통해 실행하였다. 시뮬레이션 과정은 다음과 같다.

ChatGPT-4o 에 생성하고자 하는 end effector 궤적 함수를 생성하도록 하는 프롬프트를 입력하여 궤적 함수 생성 후, 함수가 MuJoCo-py 환경에서 구동 될 수 있도록 생성된 함수를 수정한다. MuJoCo 시뮬레이터로 의도한 궤적이 맞는지 테스트한 후, 결과를 확인하고 궤적을 생성하는 데에 입력한 프롬프트를 기록한다.

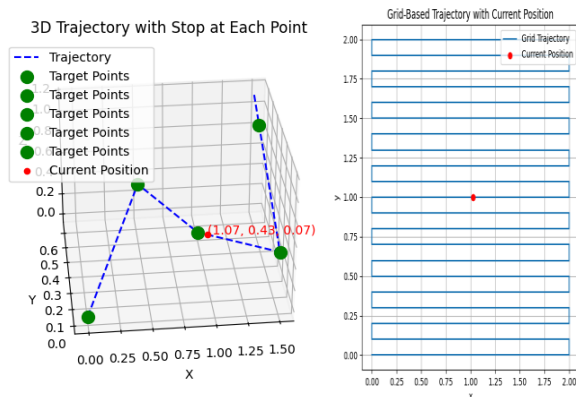


Fig.2 Trajectory Template examples (Open polygons)

Fig.2 는 Fig.1 에 제시된 템플릿 중 열린 다각형과 갈지자 형태의 궤적 예시이다. 생성된 템플릿의 조합으로

복잡한 작업을 쉽게 구현할 수 있음을 확인하기 위하여 테이블로 이동 후 생성된 다른 템플릿으로 작업하는 궤적을 조합했다.

“테이블로 가서 지그재그로 닦아줘.” 와 “테이블로 가서 원을 그려줘.” 등 로봇의 이동하는 동작과 연계될 동작을 템플릿을 통해 생성한 궤적을 조합하는 방식으로 닦기와 같은 고난이도 작업을 쉽게 구현할 수 있음을 알 수 있다.

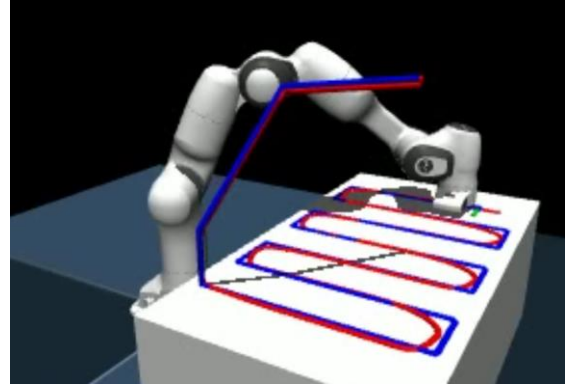


Fig.3 Manipulator Task example (Polishing)

IV. 결론

본 논문에서는 LLM 을 활용하여 로봇의 작업 궤적을 생성하는 방식을 제안해 보았다. 추상적인 인간의 언어를 명확한 목표 작업공간의 수식표현으로 변환하여 로봇의 작업 궤적을 생성할 수 있게 되었으며, 이전에 생성해둔 템플릿의 궤적을 조합하여 복잡한 작업 궤적도 쉽게 구성할 수 있게 됨을 확인할 수 있었다.

다만 로봇이 작업을 수행할 수 있는 거리나 각도 등에서 한계가 있기 때문에 프롬프트 작성 과정에서 작업공간을 설정할 때 위와 같은 조건들을 고려하여 명확한 수치로 (ex, 가로 x, 세로 y)설정해야 사용자가 의도한 궤적을 생성할 수 있다는 어려움이 있다.

향후 이러한 로봇의 작업공간을 지정하는 과정에서의 한계를 극복하기 위한 연구와 함께 시뮬레이터를 통해 명령한 궤적의 추종 성능을 검증 후 실제 로봇에도 적용해 볼 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 3 단계 산학협력 선도대학 육성사업(LINC 3.9)의 연구결과입니다. 이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 과학기술사업화진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임('학연협력플랫폼구축 시범사업' RS-2023-00304695).

참 고 문 헌

- [1] 남승우, 박찬은, 진용식, 동지연, 강동엽, 최정현. (2022-06-22). 고난이도 작업을 위한 로봇 팔의 힘-위치 교시에 대한 연구. 한국통신학회 학술대회논문집, 제주.
- [2] 정민기, 이승원, 박선미, 김유진, 박종범. (2023-11-01). 사람 손의 운동학적 시너지를 반영한 모방학습 기반 로봇 손 제어 알고리즘. 대한기계학회 춘추학술대회, 인천.