

Deep MPC를 이용한 로봇 머니플레이터 접촉 안전성 개선

조창노*, 황정훈*, 전세웅*, 김동엽*, 신동인*, 정병진*, 김태근*, 김근환*
한국전자기술연구원 지능로보틱스연구센터*

Improving contact stability of robot manipulator using deep MPC

Chang Nho Cho*, Jung Hoon Hwang*, Se Woong Jun*, Dong Yeop Kim*, Dongin Shin*, Byung-jin Jung*,
Tae-Keun Kim*, Keunhwan Kim*
Intelligent Robotics Research Center, Korea Electronics Technology Institute*

Abstract - 로봇 머니플레이터가 조립, 가공, 협동 작업 등 주변 환경과의 접촉 및 상호 작용이 필요한 작업을 수행하기 위해서 로봇 머니플레이터의 유연제어는 필수적이다. 로봇 머니플레이터의 유연제어에 대한 많은 연구가 수행되어 왔으며 많은 문헌들은 로봇 머니플레이터가 높은 강성을 가지는 물체와 접촉했을 때 제어기의 접촉 안전성이 유연제어가 실제 현장에 사용되기 위해 해결되어야 할 문제 중 하나로 지적하고 있다. 본 연구에서는 MPC 기반의 접촉 안전성 개선 알고리즘을 소개한다. Deep learning을 이용하여 로봇 머니플레이터와 사물의 접촉력을 모델링 하였으며 이를 이용하여 MPC를 통해 유연 제어기의 parameter들을 실시간으로 최적화 하여 접촉 안전성을 개선하였다. 개발된 알고리즘의 성능을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

주변환경은 spring 모델을 이용하여 모델링 하였으며 deep learning network로는 그림 1과 같이 시계열 데이터 처리에 강점을 보이는 transformer network를 사용하였다 [9]. Transformer network는 크게 encoder-decoder 구조를 가지며 그림 1의 encoder layer와 decoder layer는 attention 및 fully-connected layer 등으로 각각 구성된다. 네트워크의 입력 값은 로봇의 목표 위치 및 속도 제적이며 출력 값은 해당 제적에 대한 외력 값이다.

1. 서 론

로봇 머니플레이터는 일반적으로 위치 제어기를 이용하여 pick-and-place과 같은 단순 반복 작업에 널리 사용되고 있다. 로봇 머니플레이터가 기존의 단순 반복 작업에서 벗어나 가공, 조립, 사람과의 협업 작업 등과 같이 사물과 접촉하고 상호작용하는 작업을 수행하기 위해선 유연 제어가 필수적이며 이를 위해 impedance control이나 admittance control과 같은 제어기에 많은 연구가 수행되고 있다 [1-3].

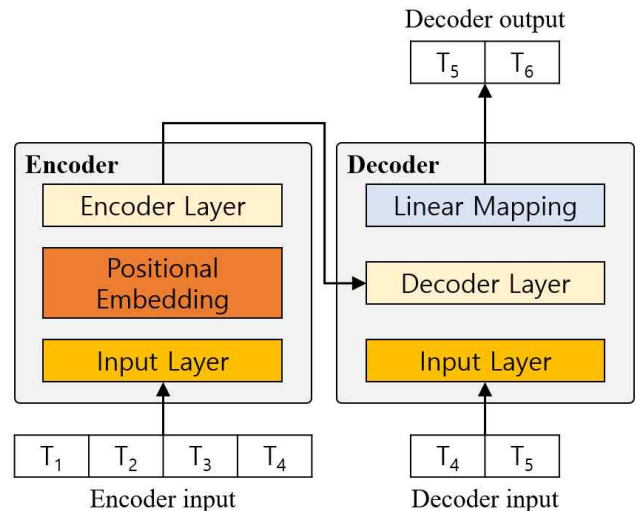
로봇 머니플레이터가 주변 사물과 안정적으로 접촉하고 작업을 수행하기 위해선 제어기가 높은 접촉 안전성을 보장하여야 한다. 이를 위해 impedance/admittance제어기의 virtual mass, damper 그리고 stiffness값을 실시간으로 제어하는 variable impedance/admittance제어기에 대한 연구가 수행되어 왔다 [4-5]. 기존 제어기들은 위치나 힘토크 센서의 정보를 바탕으로 mass, damper 그리고 spring 값을 조절하여 안정적인 접촉이 가능하도록 하였다.

본 연구는 로봇 머니플레이터 접촉 안전성 향상을 위한 model predictive control (MPC) 기반의 variable admittance 제어기를 제안한다. MPC는 최적화 기반 제어 방법으로 로봇 머니플레이터[6], quadcopter [7] 나 사족 보행 로봇 [8]의 제어에 널리 사용되고 있으며 로봇 모델에 기반하여 높은 제어 성능을 확보할 수 있으며 다양한 구속조건의 적용이 가능하다는 장점이 있다. MPC는 정확한 시스템 모델이 요구되며 따라서 적용이 제한된다는 단점이 있으며 따라서 deep learning으로 시스템 모델을 대체하는 연구 또한 진행되고 있다 [7]. 본 연구에서는 로봇과 사물의 접촉력을 deep learning으로 모델링 하였으며 학습된 network를 기반으로 MPC를 이용하여 variable admittance제어기를 구성, 접촉 안전성을 개선하였다. 개발된 제어기의 성능을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

2. Deep MPC기반 admittance 제어기

2.1 Deep learning기반 접촉력 모델링

본 연구에서는 deep learning을 이용해서 로봇 머니플레이터가 사물과 접촉 하였을 때 외력을 예측할 수 있도록 하였다. 사



〈그림 1〉 Transformer network

2.2 MPC cost 함수

본 연구에서 MPC는 variable admittance 제어기의 virtual inertia, damping 그리고 stiffness항을 제어하기 위해 적용되었으며 이때 cost함수는 다음과 같다:

$$J = (\hat{F}_e - F_d)^T Q (\hat{F}_e - F_d) \quad (1)$$

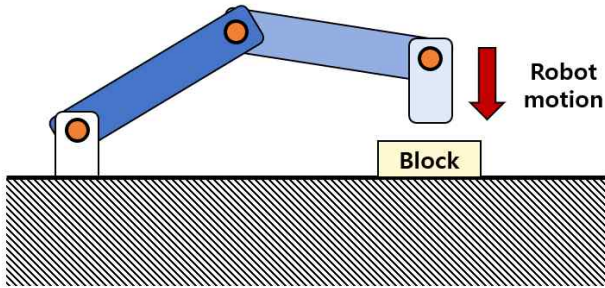
여기서 Q, \hat{F}_e 그리고 F_d 는 각각 gain matrix, deep learning을 예측된 외력, 그리고 목표 외력 값이다.

수식 1에서 알 수 있듯이 MPC는 예측된 외력값과 목표 외력값을 오차를 최소화 하며 목표 외력 F_d 를 상수로 설정함으로써 접촉 안전성의 개선이 가능하다.

2.3 시뮬레이션 환경

본 논문에서 가정한 로봇 접촉 작업을 그림2에 나타내었다. Admittance제어기로 구동되는 3자유도 로봇이 block에 대한 접촉 제어 하는 상황을 가정하였으며 이때 로봇의 말단부에는 힘토크 센서가 있어 외력의 측정이 가능하다고 가정하였다. 다양

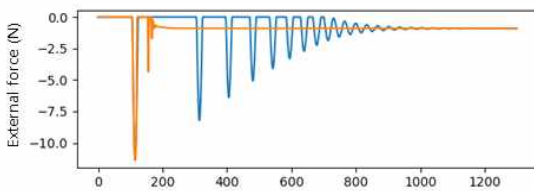
한 admittance제어기의 inertia, damping, stiffness 및 목표 궤적에 대한 데이터를 수집하여 transformer network를 학습 하였으며 이를 바탕으로 MPC기반 variable admittance 제어기를 구성 하였다.



<그림 2> 3자유도 로봇 기반 시뮬레이션 환경

2.4 시뮬레이션 결과

그림3에 시뮬레이션 결과를 나타내었으며 파란색 선이 일반 admittance제어기를 이용한 접촉력, 그리고 오렌지 색 선이 제안한 MPC기반 variable admittance 제어기를 사용하였을때의 외력값이다. 결과에서 알 수 있듯이 일반 admittance제어기는 외력이 안정화 되는데 오랜 시간이 소요되지만 제안된 제어기는 virtual inertia, damping 및 stiffness값 제어를 통해 빠른 안정화가 가능함을 알 수 있다.



<그림 3> 시뮬레이션 결과

3. 결 론

본 연구에서는 로봇 머니플레이터의 접촉 안전성 향상을 위한 MPC 기반 variable admittance 제어기를 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 제어기의 성능을 검증하였으며 향후 실제 로봇 머니플레이터를 이용하여 데이터 수집, 네트워크 학습 과정을 거쳐 제안된 제어기를 실제 적용해 볼 예정이다.

감사의 글

This research is supported by "Cooperative Intelligence Based Manufacturing Robotization Support Project " through the Ministry of Trade, Industry and Energy(MOTIE) (P0014165).

[참 고 문 헌]

- [1] Neville Hogan, "Impedance control: an approach to manipulation: part I-theory", Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol. 107(1), pp. 1-7, 1985
- [2] M. H. Ralbert, J. J. Craig, "Hybrid position-force control of manipulator", Transactions of the ASME, vol. 102, pp. 126-133, 1981
- [3] Cristian Ott, Ranjan Mukherjee, Yoshihiko Nakamura, "Unified impedance and admittance control", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.

554-561, 2010

[4] Vincent Duchaine, Clement M. Gosselin, "General model of human-robot cooperation using a novel velocity based variable impedance control", Second Joint EuroHaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces and Virtual Environment and Teleoperator Systems, 2007

[5] Vincent Duchaine, Clement Gosselin, "Safe, stable and intuitive control for physical human-robot interaction", IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2009

[6] S. Husmann, S. Stemmler, S. Hahnel, S. Vogelgeasng, D. Abel, T. Bergs, "Model predictive force control in grinding based on a lightweight robot", Conference on Manufacturing Modeling, Management and Control, 2019

[7] Gullem Torrente, Elia Kaufmann, Philipp Foehn, Davide Scaramuzza, "Data-driven MPC for quadrotors", IEEE Robotics and Automation Letters, 2021

[8] Marko Bjelonic, Ruben Grandia, Oliver Harley, Cla Galliard, Samuel Zimmermann, Marco Hutter, "Whole-body MPC and online gait sequence generation for wheeled-legged robots", Arxiv, 2021

[9] Ashish Vaswani, Noam Shazeer, Niki Parmar, Jakob Uszkoreit, Llion Jones, Aidan N. Gomez, Lukasz Kaiser, Illia Polosukhin, "Attention is all you need", Conference on Neural Information Processign Systems, 2017