

# 현실과 가상환경의 격차를 줄이기 위한 하이브리드 모델링 기반 방법론

김동연, 조든솔, 김원태\*

한국기술교육대학교 컴퓨터공학과 미래융합공학 전공

bk077711@koreatech.ac.kr, whemsthf123@koreatech.ac.kr, \*wtkim@koreatech.ac.kr

## Hybrid modeling methodology to reduce gap between real and virtual environments

DongYeon Kim, Deun-Sol Cho, Won-Tae Kim\*

Future Convergence Engineering, Dept. of Computer Science & Engineering, Korea  
University of Technology and Education

### 요 약

본 논문은 현실의 물리 시스템에 존재하는 외란과 가상환경의 시뮬레이터의 동역학 모델이 현실의 물리적 현상을 모두 반영하지 못해 발생하는 현실적 격차(reality gap)를 해결하기 위해서 외란 관측기의 원리를 응용한 데이터 기반 모델을 포함하는 하이브리드 모델 구조를 제안한다.

### I. 서 론

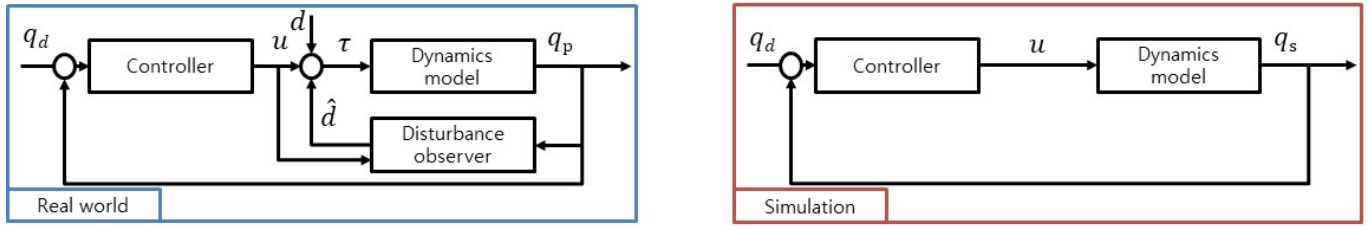
로봇을 이용하는 공정들은 최근 몇 년간 공정에 대한 자동화, 생산성 증가, 안정성 등 성능 향상을 위해 물리 시스템에 AI를 적용하고 있다. 물리 시스템에 AI를 적용하기 위해서는 목적에 맞는 AI 모델의 학습이 필요하며, AI 모델의 학습에는 방대한 양의 데이터가 요구된다. 학습에 필요한 데이터를 현실의 물리 시스템에서 생성할 경우 시간적, 비용적인 문제에 직면하기 때문에 가상환경의 시뮬레이터를 통해 학습에 필요한 데이터를 생성할 수 있다. 하지만 현존하는 시뮬레이터는 현실에 존재하는 물리적 현상을 모두 표현할 수 없기 때문에 물리 시스템의 일부만을 표현하게 되며, 이러한 현실의 물리 시스템과 가상환경 시뮬레이터의 동역학 모델의 차이로 인해 현실적 오차(reality gap)가 발생한다[1]. 가상환경에서 생성된 데이터로 학습된 AI 모델을 현실의 물리 시스템에 적용할 경우 현실적 오차로 인해 가상환경에서 동작한 결과와 현실에서 동작한 결과가 달라질 수 있다. 따라서 가상환경에서 학습한 AI 모델을 현실의 물리 시스템에 적용을 위해서는 두 환경에 존재하는 현실적 오차를 줄이는 것이 필요하며, 가상환경의 시뮬레이터에 존재하는 제어 시스템의 출력과 현실의 물리 시스템에 존재하는 제어 시스템의 출력을 동일하게 만들어 현실적 오차에 의한 영향을 줄이는 것이 필요하다. 이를 위해 현실의 물리 시스템의 존재하는 모델 불확실성과 시스템 외부에서 발생하는 외란(disturbance)을 해결하기 위해 사용되는 외란 관측기(disturbance observer)의 원리에서 착안한 현실과 가상환경의 격차를 줄이기 위한 하이브리드 모델링 기반 방법론을 제안한다.

### II. 본론

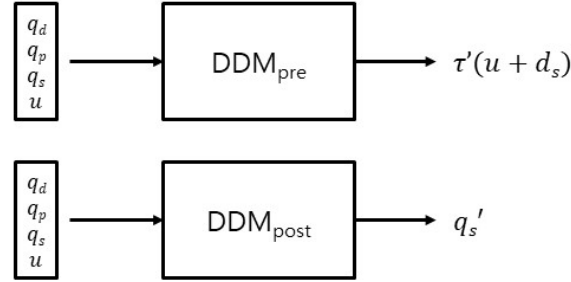
외란 관측기는 현실에 존재하는 물리 시스템의 제어 시스템을 안정적으로 제어하기 위해 제어 시스템의 동역학 모델에 영향을 미치는 외란을

관측하여 동역학 모델의 입력값을 보정한다[2]. 물리 시스템에서 발생할 수 있는 외란은 시스템 내부 요소와 시스템 외부 요소로 분류할 수 있다. 시스템 내부 요소는 시간에 따라 변화되는 동적 변수, 물리적 현상의 복잡한 수학적 방정식을 모델링할 수 없는 문제로 인해 현실의 존재하는 모든 물리적 현상을 모델링할 수 없기 때문에 실제 물리 시스템을 동역학 모델이 완전히 표현하지 못해 발생하는 모델 불확실성에 해당한다. 시스템 외부 요소는 진동, 노이즈 등으로 인해 발생하는 힘, 토크와 같이 제어 시스템 외부에서 발생하여 시스템이 고려하지 못하지만 제어에 영향을 주는 요소이다. 외란 관측기는 위와 같은 외란을 관측하고 동역학 모델의 입력에 포함된 외란을 제거하여 제어 시스템의 제어기가 의도한 대로 동역학 모델이 동작할 수 있도록 만든다.

외란 관측기가 물리 시스템을 안정적으로 제어하기 위해 외란을 관측하여 제어 시스템의 입력을 보정하는 것을 응용하는 데이터 기반 모델(data-driven model)을 생성하고, 시뮬레이터의 제어 시스템에 존재하는 동역학 모델의 입출력을 보정하는 하이브리드 모델을 구성함으로써 현실과 가상환경에 존재하는 현실적 격차를 줄일 수 있다. 가상환경의 동역학 모델 보정을 위한 데이터 기반 모델의 학습 환경은 다음과 같이 구성된다. 현실과 가상환경은 [그림 1-a]와 같이 구성되며 물리 시스템을 제어하고자 하는 목표값인  $q_d$ , 제어기에  $q_d$ 가 입력되어 나온 제어 입력값  $u$ 가 공통적으로 존재한다. 현실의 제어 시스템은 시스템 내부 요소와 시스템 외부 요소를 합친 외란에 해당하는  $d$ ,  $u$ 와  $d$ 가 합쳐진 동역학 모델의 입력값  $\tau$ , 동역학 모델의 출력에 해당하는  $q_p$ , 외란 관측기를 통해 계산된 외란 값인  $\hat{d}$ 로 구성되며, 가상환경의 제어 시스템은 동역학 모델의 출력  $q_s$ 로 구성된다. 가상환경의 동역학 모델의 입출력 보정을 위한 데이터 기반 모델은 동역학 모델은 입력값의 전치리를 수행하는  $DDM_{pre}$ 와 동역학 모델의 출력을 보정하는  $DDM_{post}$ 로 분류할 수 있다.



[그림 1-a] 현실과 가상환경의 제어 시스템 구조



[그림 1-b] 가상환경의 동역학 모델 입출력 보정을 위한 데이터 기반 모델 학습 예시

&lt;그림 1 가상환경의 동역학 모델의 입출력 보정을 위한 데이터 기반 모델&gt;

데이터 기반 모델의 입력은 현실과 가상환경의 제어 목표값  $q_d$ , 제어 입력값  $u$ , 물리 시스템의 제어 결과  $q_p$ , 가상환경 제어 시스템의 제어 결과  $q_s$ 이다. 가상환경의 동역학 모델에 대한 전처리 모델  $DDM_{pre}$ 는 현실의 물리 시스템에서 입력값  $u$ 가 외란  $d$ 에 의해서 동역학 모델의 입력이  $\tau$ 로 변하는 것처럼 임의의 외란 값  $d_s$ 를 생성하여 제어 입력값  $u$ 에 더해  $\tau'$ 를 생성한다. 생성된  $\tau'$ 는 가상환경의 동역학 모델에 입력되어 시뮬레이터가 현실 세계의 물리적 현상을 반영하지 못하는 점을 보완할 수 있을 것이다. 가상환경의 동역학 모델에 대한 후처리 모델  $DDM_{post}$ 는 현실의 외력에 해당하는 값이 반영되지 않은 제어 입력값  $u$ 가 입력 되었을 때의 출력값  $q_s$ 를 보정된 출력값  $q'_s$ 로 바꿔 가상환경의 시뮬레이터가 현실의 물리 시스템과 동일하게 동작할 수 있을 것이다. 이와 같이 데이터 기반 모델을 통해 가상환경의 동역학 모델에 대한 전처리 및 후처리를 수행하여 현실과 가상환경에 존재하는 현실적 격차를 줄일 수 있을 것이다.

### III. 결론

최근 물리 시스템에 AI를 적용하는 시도가 많아지는 만큼 현실적 격차를 줄이기 위해 sim2real 등 필두로 한 다양한 연구들이 수행되고 있다. 본 논문은 현실과 가상환경의 격차를 줄이기 위한 하이브리드 모델링 기반 방법론을 제안했다. 제안된 방법론을 통해 현실의 물리 시스템과 가상환경의 시뮬레이터에 발생하는 현실적 오차를 해소함으로써 물리 시스템을 정밀하게 모사하는 시뮬레이터를 구현할 수 있을 것이며, 이를 통해 가상 환경에서 발생하는 데이터에 대한 신뢰도가 향상될 것으로 기대된다. 향후 연구로서 본 논문에서 제안한 데이터 기반 모델에 대한 상세한 설계를 수행하고, 생성된 데이터 기반 모델을 통해 현실과 가상환경의 현실적 격차를 줄일 수 있는 하이브리드 모델링 구조에 대한 연구를 수행할 것이다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 스마트엣지디바이스기술개발사업(2022-0-00454)의 지원으로 수행되었음

### 참 고 문 헌

- [1] Höfer, S., Bekris, K., Handa, A., Gamboa, J.C., Mozifian, M., Golemo, F., Atkeson, C., Fox, D., Goldberg, K., Leonard, J. and Liu, C.K., "Sim2Real in robotics and automation: Applications and challenges," IEEE transactions on automation science and engineering, 18(2), pp.398-400, 2021.
- [2] Chen, W.H., Yang, J., Guo, L. and Li, S., "Disturbance-observer-based control and related methods—An overview," IEEE Transactions on industrial electronics, 63(2), pp.1083-1095, 2015