

XR 기반 로봇 시뮬레이션 프레임워크

김나은^{1,2}, 박정민²

¹한양대학교 컴퓨터소프트웨어학부 학부생

²한국과학기술연구원 휴머노이드연구단

betterx9@hanyang.ac.kr, pjim@kist.re.kr

An XR-based Robotic Simulation Framework for User-Centered Control

Na-Eun Kim^{1,2}, Jung-Min Park²

¹Dept. of Computer Science, Han-Yang University

²Korea Institute of Science and Technology Center for Humanoid Research

요 약

본 연구는 사용자 입력을 기반으로 이중 다수 로봇의 제어를 지원하고, ROS 연동을 통해 실제 로봇 시스템으로 확장 가능한 XR 기반 로봇 시뮬레이터를 제안한다. 제안된 시스템은 UI 기반의 로봇 선택 및 전환 기능, 다중 로봇 제어 기능을 제공하며, 로봇 모델 및 시뮬레이션 환경의 유연한 추가와 확장이 가능하다. 이를 통해 기존 로봇 시뮬레이터의 제한된 범용성과 확장성 문제를 개선하였다. 본 연구는 XR 환경에서 로봇 시뮬레이션의 유효성과 확장 가능성을 입증하고, 다양한 로봇 제어 시나리오에 대한 실험적 적용 가능성을 제시한다.

1. 서론

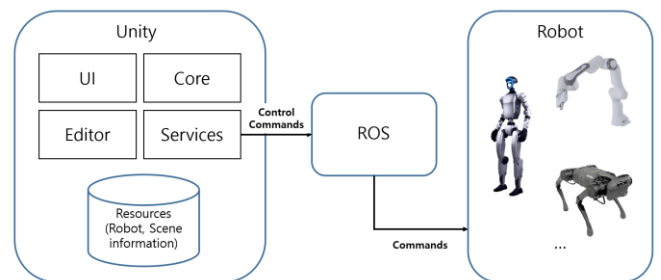
로봇 시뮬레이션은 실제 하드웨어의 물리적·환경적 제약을 극복하고 다양한 조건에서 반복적 실험을 가능하게 하는 핵심 도구로 활용되어 왔다. 그러나 기존의 로봇 시뮬레이션 연구는 로봇 팔의 작업 경로 생성[1], 농업용 로봇 기반 자동화 작업[2] 등 제한적인 특정 응용 환경에 집중되어 있다. 이로 인해 다수 로봇의 동시 운용, 사용자의 직관적 제어, 시각적 피드백을 포함한 상호작용 요소 통합 측면에서는 유연성과 확장성에 한계가 있었다. 이러한 한계를 극복하기 위해, 다양한 로봇 구성과 실험 시나리오를 손쉽게 정의하고, 사용자가 제어 명령을 직관적으로 반영할 수 있으며 다양한 로봇과 서비스 환경으로 확장 가능한 시뮬레이션 프레임워크의 필요성이 제기되고 있다. 본 연구에서는 직관적인 제어 인터페이스와 시나리오 구성의 유연성을 제공하는 XR 기반 로봇 시뮬레이션 프레임워크를 제안한다.

2. 시스템 설계

2.1 기능 중심 모듈화 프레임워크 설계

본 연구는 기능별 모듈화를 통해 시스템의 확장성과 유지보수성을 극대화하는 것을 목표로 한다. 각

모듈은 독립적인 기능 단위로 구성되어 있으며, Unity(UI, Core, Editor, Services)와 ROS 간의 통합을 용이하게 한다. 이를 통해 새로운 기능이나 서비스를 추가할 때 기존 구조에 영향을 주지 않고 손쉽게 확장할 수 있도록 설계되었다(그림 1). 이와 같은 기능 중심의 구조는 모듈 간 의존성을 최소화하고, 전체 시스템의 효율성과 유연성을 향상시킨다.



<그림 1> XR 기반 로봇 시뮬레이션 프레임워크의 구조

2.2 확장 가능한 로봇 구성을 위한 아키텍처 설계

본 시스템은 다양한 로봇의 손쉬운 추가를 가능하게 하는 유연한 구조를 채택하였으며, Core 모듈을 중심으로 설계되었다. Core 모듈 내에 위치한 GoalManager 오브젝트는 현재 사용자가 제어 중인 로봇을 식별하고 이를 일관되게 관리한다. 모든 Service 모듈은 GoalManager를 참조하여 로봇의 동작을 제어하며, 이를 통해 로봇의 상태 및 목표 정보를 실시간

으로 동적으로 갱신 할 수 있다. 이러한 구조는 기존 Service 모듈의 수정 없이도 새로운 로봇 모델을 손쉽게 추가할 수 있도록 하여, 시스템의 확장성과 유지보수성을 향상시킨다.

2.3 시뮬레이션 환경 확장을 위한 Editor 모듈화

Editor 모듈은 다양한 환경에서의 로봇 제어 시나리오를 유연하게 실험할 수 있도록 지원한다. 실험 환경 정보 (예: Scene 을 구성하는 fbx 파일과 객체 간 위치 관계를 정의한 xml 파일)가 주어지면, Editor 스크립트 내의 BuildScene()함수만으로 새로운 시뮬레이션 환경을 빠르고 효율적으로 구성할 수 있다. 이를 통해 사용자는 환경 구성을 용이하게 확장할 수 있으며, 환경 변화에 따른 다양한 제어 시나리오를 효과적으로 실험할 수 있다.

3. 실험 및 결과

3.1 UI 기반 로봇 선택 및 전환

사용자 인터페이스(UI)는 시스템 내 로봇 정보를 기반으로 동적으로 생성되며, 사용자는 이를 통해 로봇을 선택하고 전환할 수 있다. UI 모듈은 Core 모듈에 저장된 로봇 정보를 참조하여 로봇 리스트를 자동으로 생성하고, 각 항목에 로봇 선택 버튼을 할당한다. 선택된 로봇의 위치는 우측 상단에 표시되는 Minimap 상에 고유한 색상의 마커로 표시되며, 새로운 로봇이 추가될 경우 해당 로봇에 대응하는 새로운 버튼과 마커가 자동으로 생성된다. 실험 결과, 사용자는 직관적인 UI 를 통해 로봇을 효율적으로 선택하고 전환할 수 있었으며, UI 는 실시간으로 반응하여 로봇 추가 및 전환이 원활하게 이루어짐을 확인하였다(그림 2).



<그림 2> 로봇 전환 및 Minimap UI

3.2 다중 로봇의 개별 제어 가능성

3.1 에서 사용자가 제어할 로봇을 선택하면, Core 모듈은 해당 로봇을 GoalObject 로 설정하고, 이를 Service 모듈이 참조하여 제어를 수행한다. 선택된 로봇은 방향키를 이용해 이동할 수 있으며, 메인 카메라는 해당 로봇에 부착되어 로봇의 시점을 주 화면에 실시간으로 렌더링한다. 실험 결과, 선택된 로봇을 개별적으로 제어할 수 있으며, 카메라가 로봇 전환에 따라 자동으로 시점을 조정하며 정상적으로 동작함을 확인하였다.

또한 이전에 제어된 로봇들의 정보는 Scene 내에 지속적으로 유지되며, 서로 다른 로봇들을 동시에 제어하는 것이 가능함을 확인하였다(그림 3).

3.3 다중 환경 추가 및 전환

새로운 환경이 정상적으로 추가되고 기존과 동일하게 로봇 제어를 문제없이 수행함을 확인하였다(그림 4). 각 Scene 은 일반 Object 형태로 관리되며, 스크립트 내 SetActive()호출을 통해 활성화 상태를 전환한다.



<그림 3> 로봇 선택에 따른 시점 전환 및 개별 제어 (좌)

<그림 4> 다른 환경의 추가 및 전환 (우)

이러한 결과는 로봇 종류와 무관하게 사용자 중심의 일관된 제어 흐름을 유지할 수 있음을 보여주며, 본 시뮬레이터의 구조가 다중 로봇 시스템에 대해 확장성과 유연성을 제공함을 입증한다.

4. 결론

본 연구에서는 사용자의 선택 및 입력을 기반으로 이중 로봇을 제어하고, 다양한 시뮬레이션 환경에서 실험이 가능한 XR 기반 로봇 시뮬레이터를 제안하였다. 제안된 시스템은 로봇의 종류나 제어 환경에 관계없이 일관된 제어 흐름을 유지하며, 직관적인 UI 와 모듈화된 아키텍처를 통해 다양한 실험 환경 구성을 지원하는 유연성을 제공한다.

향후에는 ROS 와의 고도화된 연동을 통해 실제 환경의 동적 변화에 실시간으로 대응할 수 있는 시스템으로 확장하고자 한다. 더 나아가, 디지털 트윈 기술과의 통합을 통해 실제 로봇의 물리적 움직임과 시뮬레이션 간의 연계를 실현함으로써, 시뮬레이션 기반 로봇 개발 및 실험 환경의 실용성을 검증하고, 실제 환경에 근접한 시뮬레이션 환경 지원을 목표로 한다.

본 연구는 KIST 주요사업(과제번호 2E33602) 및 2024 년도 산업통상자원부 및 한국산업기술기회평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(RS-2024-00507746)

참고문헌

- [1] Singh, S., Kapukotuwa, A. M., Jayasundara, V., Perera, I. "Unity and ROS as a Digital and Communication Layer for Digital Twin Application: Case Study of Robotic Arm in a Smart Manufacturing Cell", *2022 IEEE 17th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)*, Kandy, Sri Lanka, pp. 247–252, 2022.
- [2] Gutiérrez-Cejudo, J., Enguix Andrés, F., Lujak, M., Carrascosa Casamayor, C., Fernandez, A., Hernández López, L., "Towards Agrirobot Digital Twins: Agri-RO5—A Multi-Agent Architecture for Dynamic Fleet Simulation", *Electronics*, 13(1), 80, 2024.