

Gazebo-ROS2-WebRTC 연동을 통한 실시간 원격 로봇팔 시뮬레이터 설계

이승석¹, 김병현¹, 송진혁¹, 이용준¹, 유동호²

한남대학교¹, 국립공주대학교²

20200611@m365.hnu.ac.kr¹, 20200643@m365.hnu.ac.kr¹, 20200631@m365.hnu.ac.kr¹,
20254055@m365.hnu.ac.kr¹, dongho.you@kongju.ac.kr²

Real-Time Remote Robot Arm Simulation via Gazebo, ROS2, and WebRTC Integration

Seungseok Lee¹, Byunghyun Kim¹, Jinhyeok Song¹, Yongjun Lee¹, Dongho You²

Hannam University¹, Kongju National University²

요약

본 논문은 원격 환경에서의 로봇팔 제어 및 시각화 기술을 실험적 수준에서 구현하고 검증하기 위한 시뮬레이션 기반 제어 시스템을 제안한다. 이를 위해 Gazebo 시뮬레이터를 활용하여 실제 산업용 로봇팔과 유사한 동작 구조를 모델링하고, ROS 2 및 ros2_control 프레임워크를 적용하여 물리 기반 제어가 가능하도록 설계하였다. 또한 WebRTC 통신 기술을 연동하여 원격 사용자가 웹 브라우저를 통해 로봇팔을 실시간으로 제어하고 시뮬레이션 화면을 직접 확인할 수 있는 기능을 구현하였다. 제안된 시스템은 조이스틱 입력과 웹 UI 제어를 동시에 지원하며, 반복 동작 수행 및 초기화 기능을 통해 훈련과 연구 환경에서 효율적인 실습이 가능하도록 구성되었다. 이러한 시뮬레이션 기반 원격 제어 시스템은 고비용·고위험의 물리적 실험 없이 안정적인 검증이 가능하게 하며, 향후 스마트 제조, 원격 유지보수, 다크 팩토리 등 무인화 산업 환경에서의 응용 가능성을 제시한다.

I. 서론

4차 산업혁명의 도래와 함께 제조 산업은 로봇 자동화와 원격 제어 기술을 중심으로 한 스마트 제조(Smart Manufacturing) 체제로 빠르게 전환되고 있다^[1]. 특히, 물리적 제약 없이 다양한 제어 로직을 사전에 검증할 수 있는 시뮬레이션 기반 제어 환경은 연구개발 효율성과 안전성을 높이는 핵심 기술로 주목받고 있다. 그러나 실제 산업용 로봇팔의 동작을 구현하고 원격으로 제어하기 위해서는 높은 시스템 복잡도, 통신 지연 문제, 시각화 성능의 한계 등 다양한 기술적 과제가 존재한다^[2].

이에 본 연구에서는 Gazebo 시뮬레이터, ROS2 프레임워크, WebRTC 통신 기술을 연동한 실시간 원격 로봇팔 시뮬레이터를 설계한다. 제안된 시스템은 실제 산업용 로봇팔과 유사한 물리 모델을 기반으로 하며, 원격 사용자가 웹 브라우저를 통해 로봇팔의 동작을 실시간으로 제어하고 시각화할 수 있도록 구성하였다. 이러한 접근은 고비용·고위험의 물리적 실험 없이 제어 로직을 안전하게 검증할 수 있게 하며, 향후 스마트 제조 및 다크 팩토리 환경과 같은 무인 자동화 시스템의 기반 기술로 확장될 수 있을 것으로 기대한다.

II. 시스템 모델

2.1 시스템 구성

본 시스템은 그림 1과 같이 Gazebo 기반의 가상 로봇팔 시뮬레이터로, 실제 산업용 로봇팔의 관절 구조와 동작 범위를 URDF와 ros2_control을 통해 구현하였다. 통신 모듈은 WebRTC를 적용하여 원격 사용자가 웹 환경에서 로봇팔을 실시간으로 제어할 수 있도록 하였으며, 저지연 전송으로 입력과 반응 간 시간차를 최소화하였다. 사용자 인터페이스는 웹 브라우저 기반 제어 패널, 화면 공유, 반복 동작 기능을 제공하여 직관적인 제어와 상태 확인이 가능하도록 구성하였다.

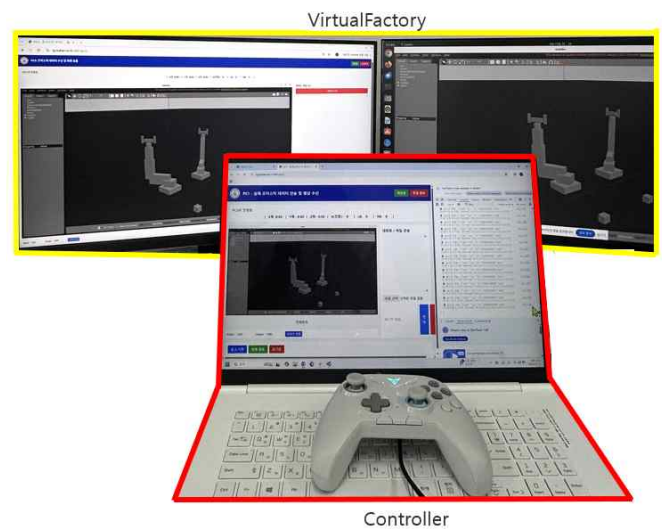


그림 1. 시스템 구성도

2.2 시스템 동작 과정

사용자가 브라우저의 제어 UI를 통해 명령을 입력하면, 해당 데이터는 WebRTC 시그널링 서버를 거쳐 Gazebo 시뮬레이터로 전달된다. 이후 ros2_control이 각 관절에 대한 JointTrajectory 명령을 생성하여 로봇팔을 구동한다. 동시에 시뮬레이터의 상태 정보와 영상은 Media Stream을 통해 사용자 브라우저로 실시간 전송된다. 이를 통해 사용자는 로봇팔의 동작을 시각적으로 확인하며 추가 제어를 수행할 수 있다. 이러한 구조는 원격 환경에서도 실제 로봇 조작과 유사한 제어 경험을 제공하고, 지연에 따른 오작동을 최소화한다.

III. 시스템 구현

3.1 Gazebo 기반 로봇팔 모델링

본 시스템의 가상 로봇팔 환경은 Gazebo 시뮬레이터를 기반으로 구축하였다^[3]. 그림 2와 같이 URDF를 사용하여 링크, 관절 구조, 동작 범위를 정의하고, 각 관절에는 ros2_control과 Joint_trajectory_controller를 적용하여 명령 단위의 궤적 제어가 가능하도록 구성하였다. Effort 기반 제어 방식을 적용하여 위치뿐 아니라 속도와 힘 제어도 지원한다. 또한 Gazebo 물리 엔진을 활용해 중력, 마찰, 충돌 등 물리적 조건을 설정함으로써 실제 환경과 유사한 동작 반응을 구현하였다. 이를 통해 사용자는 고가의 실제 장비 없이도 안정적이고 반복적인 실험 및 검증을 수행할 수 있다.

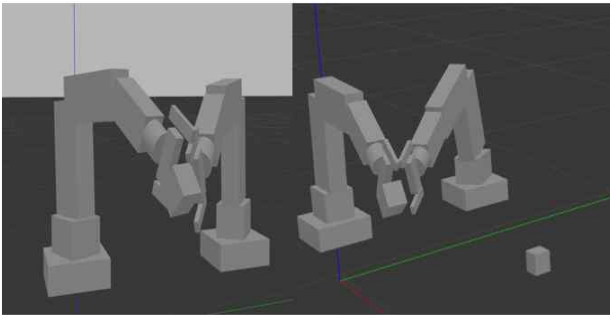


그림 2. Gazebo 시뮬레이터에서 구현한 협동 로봇팔 모델

3.2 WebRTC 통신 모듈

원격 로봇팔 제어 시스템은 그림 3과 같이 WebRTC 시그널링 서버(Signaling Server), 컨트롤러(Controller), 가상 공장(Virtual Factory)으로 구성된다. 초기 연결은 시그널링 서버를 통해 이루어지며, WebSocket을 이용해 두 PC 간 연결 정보를 교환한다. 시그널링 서버는 요청과 응답만 중계하고, 실제 데이터는 서버를 거치지 않고 P2P로 직접 전송된다.

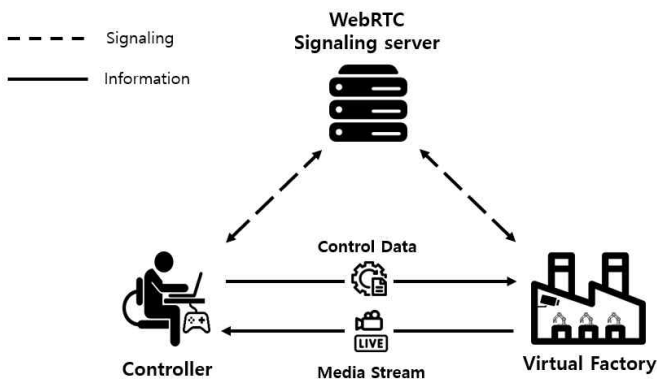


그림 3. WebRTC기반 원격 로봇팔 제어 시스템의 통신 구조

컨트롤러는 사용자의 조이스틱 입력을 처리하는 모듈로, 명령 신호를 WebRTC Control Data를 통해 가상 공장으로 전달한다. 가상 공장에서는 Gazebo 시뮬레이터가 명령을 수신해 로봇팔을 구동하며, 동시에 시뮬레이션 화면을 Media Stream으로 컨트롤러에 송출한다. 이를 통해 사용자는 자신의 입력 결과를 실시간으로 확인할 수 있으며, 서버 중계를 최소화한 구조로 낮은 지연과 안정적인 제어가 가능하다.

3.3 반복 동작 및 웹서버 연동

웹 브라우저 UI는 로봇팔의 반복 동작과 초기화를 지원한다. 사용자는

"반복 시작" 버튼을 눌러 로봇팔의 자세와 각도를 제어한 뒤, 해당 동작을 자동으로 반복 실행할 수 있으며, "반복 종료" 버튼으로 언제든지 중단할 수 있다. 또한 "초기화" 버튼을 통해 로봇팔을 기본 상태로 복원하여 안정적인 제어 환경을 유지한다. 이러한 입력 신호는 웹서버와 연동되어 WebRTC Control Data를 통해 시뮬레이터로 전달되며, 상태 메시지는 브라우저 화면에 실시간으로 표시된다.

IV. 결론

본 논문에서는 Gazebo 시뮬레이터와 WebRTC 통신을 기반으로 한 실시간 원격 로봇팔 제어 시스템을 설계하고 구현하였다. 제안된 시스템은 조이스틱과 웹 기반 UI를 통해 로봇팔의 제어, 반복 동작, 초기화를 직관적으로 수행할 수 있도록 구성되었으며, 학습 및 훈련 환경에서도 활용이 가능하다. 또한 WebRTC 구조를 적용하여 원격 환경에서도 낮은 지연으로 안정적인 데이터 전송과 화면 공유가 가능함을 확인하였다. 이러한 결과는 고비용·고위험의 물리적 실험을 대체하고, 향후 스마트 제조 및 무인화 공정 환경에서의 응용 가능성을 제시한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 한국전자통신연구원 연구운영비지원사업의 일환으로 수행되었음. [25ZC1100, 초실감 입체공간 미디어·콘텐츠 원천기술 연구]

참 고 문 헌

- [1] OECD, *The Digitalisation of Science, Technology and Innovation: Key Developments and Policies*, Paris, France: OECD Publishing, 2020.
- [2] M. Marian, F. Stîngă, M. -T. Georgescu, H. Roibu, D. Popescu and F. Manta, "A ROS-based Control Application for a Robotic Platform Using the Gazebo 3D Simulator," in *Proc. 2020 21th International Carpathian Control Conference (ICCC)*, High Tatras, Slovakia, 2020.
- [3] Open Source Robotics Foundation, *Gazebo: Simulation Library – Official Documentation*, GazeboSim.org, 2024. [Online]. Available: <https://gazebo.org/libs/sim>