

## 5G특화망에서 XR기반 협동로봇 텔레오퍼레이션 프로토타입 시스템 구현

손세일, 박연규, 송영빈\*, 양시영\*

한국방송통신전파진흥원, \*㈜유비씨

seilson@kca.kr, ygpark@kca.kr, \*ybs@uvc.co.kr, \*ysy@uvc.co.kr

## Implementation of a XR-based collaborative robot teleoperation prototype system on a Private 5G

Son Sei Il, Park Yeon Gyu, \*Song Young Bin, \*Yang Si Yeong

Korea Communications Agency, \*UVC Co., Ltd.

## 요 약

5G 특화망 환경에서 XR 기술을 이용한 협동로봇 텔레오퍼레이션 프로토타입 시스템 구현과 주요 기능 모듈에 대해 소개한다. 일반 인터넷 환경은 지터(jitter)가 높았으나 원격지와 텔레오퍼레이션이 안정적으로 동작됨을 확인했다.

## I. 서 론

퍼지컬 AI 및 로봇 공학에서 텔레오퍼레이션은 단순 원격 제어를 넘어 고품질의 AI 학습 데이터 수집 및 정책 안정성 확보를 위한 휴먼-인-더-루프(Human-in-the-Loop)의 핵심 기술이다. 본 연구에서는 5G 특화망에 연결된 협동로봇을 XR 기술을 이용해 텔레오퍼레이션 하기 위한 프로토타입 시스템을 구축하고, 원격지 테스트를 수행했다.

## II. 본 론

기존 연구[1]에 따르면 텔레오퍼레이션을 위한 주요 지표는 대역폭, 지연시간, 지터 등이다. 본 연구에서는 그림1과 같이 스마트제조혁신 기술개발사업을 통해 개발된 5G특화망 단말, 스몰셀, 모바일코어를 통합하여 5G특화망 테스트베드를 구축했다. 테스트베드는 4.7GHz와 28.9GHz 5G 특화망이 모두 구축되어 있으며, 본 연구에서는 4.7GHz 5G 특화망을 이용했다.



그림1. 5G특화망에서 협동로봇 텔레오퍼레이션 시스템 구성

원격제어를 위한 협동로봇은 유니버설로봇사의 UR5e, 그리퍼는 SCHUNK사의 EGH 모델이 활용되었다. XR 기반 협동로봇 텔레오퍼레이션 프로토타입은 관련 기술을 보유한 ㈜유비씨에서 개발했다[2]. 사용자 인터페이스는 HMD와 제스처 등을 활용할 수 있으나, 테스트의 용이성을 위해 모니터를 통해 XR 화면을 보면서 조이스틱으로 조작하는 방식을 사용했다. 유니버설로봇사에서 제공하는 도구와 API를 이용해 로봇 모니터링, 제어 명령을 처리했다. 텔레오퍼레이션 결과가 실제 협동로봇, 그리퍼에 반영되었는지를 확인하기 위해 FHD(1920×1080)@30fps 저지연 실시간 영상 스트리밍 시스템을 구축했다.

기능	역할	저지연 요구
PolyScope VNC	로봇 프로그램 생성, 설정 변경, 로봇 재시작 등의 모든 GUI 기반 작업 수행	보통
RTDE	로봇의 상태 정보(위치, 속도, 전류, I/O 상태 등)를 고속으로 수신하여 실시간 감시 및 제어 알고리즘에 활용	높음
URScript	로봇 제어를 위한 명령, 스크립트 전송 및 실행	약간 높음
Modbus	PLC와 같은 외부 장치와 디지털/아날로그 I/O 상태 등 읽기/쓰기	높음
Dashboard Server	로봇의 제어 모드(원격/로컬) 변경, 프로그램 로드, 시작/정지, 에러 메시지 확인 등 로봇 컨트롤러 기능 관리	보통

표 1. 유니버설로봇 텔레오퍼레이션을 위한 기능과 저지연 요구

전북 익산에 구축된 5G특화망 테스트베드의 프로토타입 시스템을 원격지인 경기 고양 킨텍스에서 전용선이 아닌 일반 인터넷을 이용해 텔레오퍼레이션을 시험했다. 인터넷 구간의 대역폭은 평균 17.7Mbps, 지연시간은 평균 18ms, 최소 9ms, 최대 48ms로 편차가 컸으나, 텔레오퍼레이션의 안정적 동작을 확인했다.

## III. 결 론

본 논문에서는 5G특화망 환경의 협동로봇을 텔레오퍼레이션하는 프로토타입을 구현하고, 원격지 테스트를 수행했다. 향후 퍼지컬 AI를 위한 특화망 환경에서 텔레오퍼레이션에 관한 연구를 진행할 예정이다.

## ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2023-00225624 스마트공장 전용 5G 단말의 실증 테스트 및 인증체계 개발)

## 참 고 문 헌

- [1] C. Yang, et al. "Deterministic Networking Empowered Robotic Teleoperation", IEEE Network, Vol.39. (2024)
- [2] [UVC] 협동 로봇 AR 모니터링 및 제어, <https://www.youtube.com/watch?v=MgY0hbdR5RU>