

하이브리드 통신 기반 다중 로봇 관제 및 모니터링 시스템

박진수, 박재한, 신수용*

IT융복합공학과

국립금오공과대학교

jp@kumoh.ac.kr, qkrwogs7094@kumoh.ac.kr, wdragon@kumoh.ac.kr

A Multi-Robot Control and Monitoring System Based on Hybrid Communication

Jin Su Park, Jae Han Park, Soo Young Shin

Department of IT Convergence Engineering

Kumoh National Institute of Technology

요 약

스마트 팩토리 환경에서 산업용 로봇, AGV, 협동 로봇 등 이중 로봇 에이전트의 수와 종류가 증가함에 따라, 이들을 통합적으로 관제하고 실시간으로 모니터링하며 제어할 수 있는 새로운 시스템의 필요성이 대두되고 있다. 기존의 관제 시스템은 TCP 기반의 통신 방식을 주로 사용하여 데이터의 신뢰성은 높지만, 네트워크 불안정 시 치명적인 지연을 유발하여 실시간성이 요구되는 로봇 제어에는 한계를 보인다. 본 논문은 WebRTC 기반 다중 UAV 영상 전송 기술의 저지연성 및 확장성을 기반으로, 여기에 하이브리드 통신 기법을 결합한 관제 시스템을 제안한다. WebRTC를 이용하여 영상 스트리밍 및 긴급 실시간 제어 명령을 처리하고, WebSocket을 이용하여 신뢰성이 필수적인 시스템 설정 및 로그 데이터를 전송함으로써, 실시간 관제 및 고신뢰성 데이터 전송이라는 두 가지 핵심 요구사항을 동시에 만족시키는 통합 관제 솔루션을 제시한다.

I. 서론

4차 산업혁명과 함께 스마트 팩토리는 고도화되고 있으며, 생산성 및 효율성 증대를 위해 다양한 종류의 로봇(산업용 로봇, AGV/AMR, 검사 로봇 등)을 유기적으로 통합하여 운영하고 있다. 이러한 다중 에이전트 시스템은 중앙 집중형 또는 분산형 관제 시스템(GCS)을 통해 관리되며, 특히 무선 통신 환경에서 로봇의 실시간 상태를 파악하고 즉각적인 제어 명령을 내리는 것이 핵심적인 과제가 되었다.

기존의 연구는 주로 단일 로봇에 초점을 맞추거나, 데이터의 신뢰성에 우선순위를 두는 TCP 기반 통신 프로토콜(WebSocket, MAVLink over TCP 등)을 활용해왔다. 그러나 다수의 로봇이 고화질 영상과 방대한 센서 데이터를 동시에 스트리밍하고, 동시에 즉각적인 제어 명령을 수신해야 하는 환경에서는 기존 방식의 한계가 명확히 드러난다. 특히, 군집 드론 영상 전송 기법 관련 연구에서 WebRTC의 저지연성과 다중 피어 관리의 효율성이 입증되었듯이, 영상 스트리밍 분야에서는 WebRTC의 도입이 타당성을 확보하였다[1]. 하지만, 해당 연구를 포함한 기존 연구들은 영상 모니터링의 실시간성에 집중했을 뿐, 실제 군집 로봇 제어 환경에서 필수적인 '제어 명령'에 대한 통신 방법론의 복잡도와 안정성 문제를 충분히 다루지 못했다. 실시간 영상 확인이 가능하더라도, 제어 명령에 지연이 발생한다면 관제 시스템의 실효성은 크게 떨어진다.

따라서 본 논문은 실시간 모니터링의 핵심인 WebRTC 기술을 확장하여 다중 로봇 관제 환경에 적용하고, 여기에 명령어의 종류와 중요도에 따라 통신 프로토콜을 분리하는 하이브리드 전략을 제안한다.

II. 본론

2.1. 기존 통신 기술의 한계

기존에 널리 사용되던 WebSocket 또는 ROS 1 기반 시스템은 TCP 프로토콜을 기반으로 하므로, 데이터 패킷이 유실될 경우 재전송 메커니즘으로 인해 큰 지연(Latency Spike)이 발생한다. 이는 로봇의 긴급 정지나 미세한 조작과 같이 실시간성이 100ms 이내로 요구되는 제어 명령에서 심각한 문제로 작용한다.

반면, WebRTC는 P2P 연결을 통해 서버 부하를 줄이고 UDP 기반으로 통신하여 지연율을 극도로 낮출 수 있다. 드론 영상 전송 기법 논문의 연구 결과에서도 확인할 수 있듯이, WebRTC는 기존 스트리밍 프로토콜 대비 뛰어난 QoE(Quality of Experience)와 QoS(Quality of Service)를 제공하며, 원격 조종을 위한 300ms 미만의 지연을 요구사항을 만족한다[1]. 따라서 본 연구에서는 다중 로봇 환경에서 영상 및 대용량 센서 데이터를 통합 관제 패널로 전송하기 위한 핵심 기술로 WebRTC를 채택한다.

2.2. 제안 시스템

본 논문에서 제안하는 시스템은 다중 로봇의 정보를 통합적으로 관리하는 관제 패널을 중심으로, WebRTC와 WebSocket 통신을 병렬적으로 운영하는 하이브리드 구조를 채택한다.

그림 1은 제안하는 시스템의 구조를 나타낸다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 다중 로봇의 정보를 통합적으로 관리하는 관제 패널을 중심으로, WebRTC와 WebSocket 통신을 병렬적으로 운영하는 하이브리드 구조를 채택한다. 이 통합 관제 패널은 AGV, 산업용 로봇 등 여러 종류의 로봇 에이전트로부터 수집되는 모든 정보(배터리 잔량, 위치, 생산량 등)와 저지연 영상을 하나의 대시보드에서 통합하여 확인하고 제어할 수 있는 기능을 제공한다. 특히, 관제 패널에서 특정 로봇들을 선택하거나 그룹을 지정하여 맞춤형 명령을 내릴 수 있는 선택적/그룹 제어 기능을 통해 운영의 유연성과 효율성을 극대화한다.

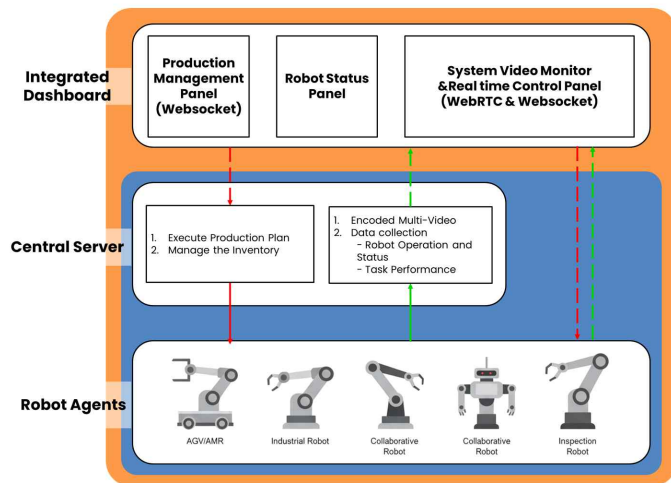


그림 1 제안 시스템 구조

2.3. 하이브리드 통신: WebRTC와 WebSocket의 이중 활용

제안하는 시스템은 WebRTC와 WebSocket을 사용해 로봇 관제 명령 및 데이터의 실시간성과 신뢰성 요구 수준에 따라 통신 채널을 분리하여 사용 이는 두 프로토콜의 장점을 극대화하고 단점을 상호 보완한다.

WebRTC 채널은 영상 스트리밍과 함께 Data Channel을 활용하여 로봇의 상태를 업데이트하는 연속적인 센서 데이터와 즉각적인 제어 명령을 전송합니다. ROS 2의 QoS 설정에서 Best Effort 옵션처럼 동작하며, 지연을 최소화하여 로봇의 민첩한 반응을 보장한다.

WebSocket 채널은 로봇의 작업 경로, 설정 파일, 펌웨어 업데이트 등 데이터 유실 시 시스템 오류를 유발할 수 있는 데이터와, 확인 필수적인 알람 및 로그를 전송한다. TCP의 신뢰성을 바탕으로 데이터의 순차적이고 정확한 전송을 보장한다.

하이브리드 통신을 통해 제안 시스템은 기존 시스템에서 발생했던 '지연된 제어 명령' 문제를 해결하며, 다중 로봇 시스템의 안정적 운영에 필수적인 '신뢰성 높은 데이터 기록 및 설정' 기능을 동시에 제공한다.

2.3. 하이브리드 통신과 로봇 제어 연동

제안하는 시스템은 웹 기반의 ROS를 사용하지 않는 관제 환경과 실제 로봇 에이전트를 하이브리드 통신 프로토콜로 유기적으로 연동하는 게이트웨이 시스템을 사용한다. 로봇 에이전트에는 파이썬 기반의 통신 중개 모듈이 탑재되어, 관제 패널의 명령을 로봇 운영체제(ROS)의 토픽(Topic) 시스템으로 변환하고 그 결과를 다시 관제 패널로 전달하는 역할을 수행한다.

사용자가 관제 패널을 사용해 입력한 명령은 그 명령의 종류에 따라 WebRTC 또는 WebSocket 게이트웨이 시스템을 통해 로봇으로 전달된다. 로봇은 전달받은 명령을 ROS Topic으로 발행해 실제 에이전트를 구동한다. 로봇에서 Topic 형태로 발행되는 센서데이터 역시 로봇에 탑재된 통신 중개 모듈을 통해 전송에 필요한 데이터를 추출하고 이를 데이터 종류에 따라 WebRTC 또는 WebSocket 게이트웨이 시스템을 통해 관제 패널로 전송한다.

III. 결론

본 논문은 스마트 팩토리 환경에서 다중 로봇의 통합 관제 및 제어를 위해 WebRTC의 저지연성과 WebSocket의 고신뢰성을 결합한 하이브리드 통신 기반 다중 로봇 관제 및 모니터링 시스템을 제안하였다. 기존 다중

UAV 영상 전송 연구에서 입증된 WebRTC의 기술적 타당성을 바탕으로, 영상 모니터링을 넘어 실시간 제어 명령 체계에 WebRTC를 확장 적용함으로써 실시간 관제 시스템의 실효성을 획기적으로 높였다.

제안 시스템은 실시간 영상 및 긴급 제어 신호는 WebRTC Data Channel을 통해 처리하고, 미션 설정 및 시스템 로그와 같이 신뢰성이 필수적인 데이터는 WebSocket 채널을 통해 처리하는 이원화된 하이브리드 통신 전략을 통해 로봇 관제 시스템의 주요 도전 과제인 실시간성과 신뢰성의 상충 관계를 성공적으로 해소한다.

향후 연구에서는 제안하는 시스템의 구조를 기반으로 실제 스마트 팩토리 환경에서 다중 로봇을 연결하여 제안된 하이브리드 통신 전략의 성능(지연율, 처리량, 패킷 손실률)을 정량적으로 분석하고, 다양한 네트워크 환경(Wi-Fi, 5G)에서의 운용 안정성을 검증할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea under the ITRC(Information Technology Research Center) support program(IITP-2025-RS-2023-00259061) supervised by the IITP(Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation, 20%). This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education (RS-2025-25436671, 40%) This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (RS-2025-00553810, 40%)

참 고 문 헌

- [1] Kilic, F.; Hassan, M.; Hardt, W. "Prototype for Multi-UAV Monitoring - Control System Using WebRTC," 2024, (<https://doi.org/10.3390/drones8100551>).
- [2] Han, Inseong, "WebSocket vs WebRTC for Real-Time Audio Communication," Medium, 2024 (<https://www.google.com/search?q=https://medium.com/%40inssal102/websocket-vs-webrtc-for-real-time-audio-communication-d3b05edb5f42>).