

LLM 기반 로봇 관제 시스템의 Agent AI 구축

이종록, 황정훈, 박민철*

한국전자기술연구원, 한국전자기술연구원, *한국전자기술연구원

jongrok@keti.re.kr, hwangjh@keti.re.kr, *mincheol.p@keti.re.kr

Development of an LLM-Based Agent AI for Multi-Robot Monitoring and Control Systems

Jongrok Lee, Jung Hoon Hwang, Mincheol Park*

Korea Electronics Technology Institute, Korea Electronics Technology Institute, *Korea Electronics Technology Institute

요약

이 연구는 LLM(Large Language Model) 기반 로봇 관제 시스템을 위한 Agent AI 구조를 제안하고 구현한 연구이다. LangChain 기반의 Agent AI를 활용하여 멀티 로봇 관제 시스템을 구축하였으며, 프롬프트와 페르소나(persona) 설계를 유연하게 수정함으로써 단일 로봇 환경에서도 동일한 Agent AI를 적용할 수 있도록 확장성 있는 구조를 설계하였다. 또한, Agent 가 사용하는 Tool을 ROS 2 토픽 및 서비스 인터페이스로 정의하여, 사용자의 자연어 명령을 ROS 2 기반 로봇 제어 명령으로 변환하는 기능을 구현하였다. 이를 통해 사용자는 복잡한 로봇 제어 명령을 직접 작성하지 않고도 자연어를 통해 로봇의 행동을 제어할 수 있다. 더불어, 관제 시스템 내에서 각 로봇의 위치 정보 및 상태 정보를 실시간으로 수집·모니터링할 수 있는 기능을 통합하여, LLM 기반 Agent AI가 로봇의 현재 상태를 인지하고 상황에 맞는 명령 생성 및 의사결정을 수행할 수 있도록 하였다. 본 연구는 LLM 기반 Agent AI를 로봇 관제 및 제어 영역에 적용한 실질적인 시스템 아키텍처와 구현 사례를 제시한다는 점에서 의의가 있다.

I. 서론

최근 로봇 기술의 발전과 함께 자율 이동 로봇, 서비스 로봇, 산업용 로봇 등 다양한 형태의 로봇이 실제 환경에 다수 투입되고 있으며, 이에 따라 다수의 로봇을 효율적으로 관리·제어하기 위한 로봇 관제 시스템의 중요성이 증가하고 있다 [1]. 기존의 로봇 관제 시스템은 주로 GUI 기반 인터페이스와 사전에 정의된 명령 집합을 통해 로봇을 제어하는 방식으로 구성되어 있으며, 이는 시스템 확장성 부족, 사용자 조작의 복잡성, 그리고 상황 변화에 대한 유연한 대응의 한계를 가진다.

한편, 최근 대규모 언어 모델(Large Language Model, LLM)의 발전은 자연어 이해 및 추론 능력을 기반으로 한 새로운 형태의 인간-시스템 인터페이스를 가능하게 하고 있다 [2]. LLM은 자연어 입력을 구조화된 명령이나 실행 가능한 작업 단위로 변환할 수 있으며, 이를 기반으로 다양한 소프트웨어 애이전트(Agent) 시스템이 제안되고 있다. 이러한 Agent 기반 접근 방식은 복잡한 작업을 단계적으로 분해하고, 상황에 따라 적절한 도구를 선택하여 실행할 수 있다는 점에서 로봇 관제 분야에 적용할 가능성이 크다.

그러나 기존의 LLM 기반 Agent 연구들은 주로 웹 서비스, 데이터 분석, 문서 처리와 같은 소프트웨어 영역에 집중되어 있으며, ROS 2 기반 로봇 시스템과의 직접적인 연동, 특히 멀티 로봇 관제 환경에서의 실시간 상태 인지 및 제어를 고려한 사례는 제한적이다. 또한, 로봇 제어를 위해 자연어 명령을 실제 ROS 2 토픽 또는 서비스 기반의 제어 명령으로 변환하는 과정에서 요구되는 구조적 설계와 안정성 문제 역시 충분히 다뤄지지 않았다.

본 연구에서는 이러한 한계를 해결하기 위해 LangChain 기반의 LLM Agent AI를 활용한 로봇 관제 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 멀

티 로봇 환경을 고려한 관제 구조를 기반으로 하며, 프롬프트 및 페르소나(persona) 설정을 통해 동일한 Agent AI를 단일 로봇 환경에도 유연하게 적용할 수 있도록 설계되었다. 또한, Agent가 사용하는 도구를 ROS 2 토픽 및 서비스 인터페이스로 정의함으로써, 사용자의 자연어 명령을 ROS 2 기반 로봇 제어 명령으로 변환하는 기능을 구현하였다.

더 나아가, 본 시스템은 관제 서버로부터 각 로봇의 위치 정보 및 상태 정보를 수집·모니터링하고, 이를 Agent AI의 의사결정 과정에 반영함으로써 로봇의 현재 상태를 고려한 명령 생성 및 제어가 가능하도록 구성되었다. 이를 통해 사용자는 복잡한 로봇 제어 명령을 직접 작성하지 않고도 자연어 기반 인터페이스를 통해 로봇을 직관적으로 제어할 수 있다.

II. 본론

본 연구에서 구현한 LLM 기반 로봇 관제 시스템은 크게 세 모듈로 구성된다: (1) Agent AI 모듈, (2) ROS 2 기반 실시간 로봇 인터페이스, (3) 사용자 상호작용 UI 모듈. Agent AI는 자연어 입력을 받아 ROS 2 명령으로 변환하고, 로봇의 상태를 해석·판단하는 역할을 수행한다. Agent 기반 구조는 LangChain 프레임워크 위에서 동작하며, 내부적으로 ROS 2와 연동되는 Tool들을 호출함으로써 로봇 제어·관제 기능을 제공한다.

시스템 전체 개념도는 그림 1과 같다. 사용자는 UI를 통해 자연어 명령을 입력하거나 로봇 상태를 조회할 수 있다. 입력된 자연어는 LangChain Agent로 전달되며, Agent는 내부 Prompt와 Persona 기반 Reasoning을 거쳐 ROS 2 명령으로 변환한다. 변환된 명령은 ROS 2 토픽/서비스 호출 형태로 퍼블리시(publish)되며, 로봇은 이를 구독하고 실제 행동으로 실행한다.

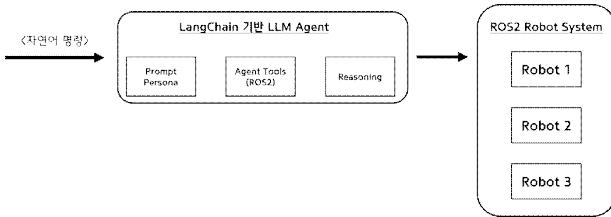


그림 1. 시스템 개략도

동시에 로봇에서 퍼블리시한 상태·센서 정보는 UI로 피드백되어, Agent 와 사용자가 환경의 실시간 상태를 인지할 수 있다.

본 연구는 NASA JPL에서 공개한 ROSA (Robot Open-Source Agent) 오픈소스 [3]를 기반으로 시스템 구현을 진행하였다. ROSA는 LangChain 기반으로 단일 로봇 Agent를 구현하는 참조 프레임워크로, 자연어 입력을 ROS 2 명령으로 변환하는 구조를 제공한다. 그러나 원래의 ROSA는 단일 로봇 환경에 집중되어 있으며, 멀티 로봇 관제 및 실제 작동 환경 통합 기능이 제한적이었다. 본 연구에서는 기존 ROSA를 다음과 같은 방식으로 확장하였다:

Agent Tool의 ROS 2 토픽/서비스 매팅 구조 구현: 로봇 제어 동작을 수행하는 ROS 2 퍼블리시 명령들을 LangChain Tool로 정의하였다. 예를 들어, 보행 시작/정지, 목표 좌표 설정, 센서 정보 요청, 상태 정보 피드백 등은 각각 Tool로 매팅되어 있다. 이 구조는 자연어 - ROS 2 간 변환의 모듈화를 제공하며, ROS 2 토픽/서비스를 호출하는 일련의 인터페이스를 Agent가 직접 사용할 수 있도록 한다.

본 연구의 시스템은 실제 4족 보행 로봇 플랫폼에 적용되어 검증되었다. 로봇은 ROS 2 기반으로 구성되어 있으며, 모터 제어, IMU, 라이다, 깊이 카메라 등 센서 스택이 통합되어 있다. 실험 결과, 사용자 입력 → Agent 처리 → ROS 2 실행 → 로봇 동작의 전체 파이프라인이 실시간으로 수행되었으며, UI를 통해 상태·센서 정보가 정확히 피드백되는 것을 확인하였다.

III. 결론

본 논문에서는 LLM 기반 Agent AI를 활용한 로봇 관제 시스템을 설계하고 구현하였다. NASA JPL에서 공개한 ROSA 오픈소스를 기반으로, 단일 로봇 Agent 구조를 확장하여 멀티 로봇 관제 환경에 적용 가능한 Agent AI 구조를 제안하였다. 제안한 시스템은 LangChain 기반 Agent와 ROS 2를 연동하여, 자연어 명령을 실제 로봇 제어에 사용되는 ROS 2 토픽 기반 명령으로 변환할 수 있도록 구성되었다. 또한, 로봇에서 취득한 상태 및 센서 정보를 관제 시스템과 UI를 통해 실시간으로 모니터링하고, 이를 바탕으로 원격 자연어 기반 로봇 제어가 가능함을 실제 4족 보행 로봇 실험을 통해 검증하였다. 본 연구는 LLM 기반 Agent AI를 로봇 관제 시스템에 적용하는 구체적인 구현 방법과 실증 사례를 제시하며, 향후 다수의 로봇을 직관적으로 제어·관리하기 위한 자연어 기반 로봇 인터페이스 연구의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 현

- [1] Goodrich, Michael A., and Alan C. Schultz. "Human - robot interaction: a survey." *Foundations and trends in human - computer interaction* 1.3 (2008): 203-275.
- [2] Brown, Tom, et al. "Language models are few-shot learners." *Advances in neural information processing systems* 33 (2020): 1877-1901.
- [3] <https://github.com/nasa-jpl/rosa>

ACKNOWLEDGMENT

※ 본 연구는 산업통상자원부의 소재부품기술개발사업(No. 00508189, 다수의 필드 로봇에 동시 적용 가능한 소형 고해상도 광시야각 융합 라이다 센서 개발)의 지원을 받았습니다.