

지능형 지휘통제 시스템 고도화를 위한 확장 가능한 AI 에이전트 아키텍처 설계 연구

박상우, 최민주, 백승호
LIG 넥스원

sangwoo.park4@lignex1.com, minjoo.choi@lignex1.com, seungho.baek@lignex1.com

Design of a Scalable AI Agent Architecture for Enhancing Intelligent Command and Control Systems

Park Sangwoo, Choi Minjoo, Baek Seungho
LIG Nex1

요약

본 논문은 국방 지능형 지휘통제(Intelligent C2, Intelligent Command and Control) 시스템에서 AI 에이전트를 활용할 때 상황인지(situational awareness)의 실시간성과 신뢰성 확보를 위해 확장 가능한 구조로 구성된 AI 에이전트를 적용하여 지능형 지휘통제 시스템에 필수적인 보안성 및 실시간성을 강화하는 방안을 제안한다. 제안 아키텍처는 Sense-Think-Act 구조를 기반으로 상황인지 계층, 판단 모델 계층, 의사결정 지원 계층, 보안 및 감사 계층의 모듈 단위로 구성된다. 본 논문에서는 해당 구조의 설계 원리 및 기능을 상세히 설명하고, 제안 구조의 확장성과 응용 가능성을 제시한다.

I. 서론

현대 전장은 이전과 비교할 수 없을 정도로 빠르게 변화하고 있으며, 실시간 정보 수집과 정확한 판단, 그리고 신속한 명령 하달이 전투의 성패를 좌우하고 있다. 특히 러시아-우크라이나 전쟁, 이스라엘-하마스 분쟁 등 최근의 충돌 사례는 단순한 물리력보다 정보력과 지휘통제(C2, Command and Control) 능력이 전술적 우위를 결정하는 핵심 요소임을 여실히 보여주었다. 이에 따라 전 세계 국방 기관은 GIS Arta 와 같은 지휘통제 체계의 지능화와 신속한 의사결정 지원의 중요성을 재인식하였으며, 기존의 지휘통제 체계를 자동화하려는 노력을 강화하고 있다.

한편, 대규모 언어 모델(LLM, Large Language Model)을 기반으로 한 생성형 AI 기술은 인간 수준의 언어 이해와 텍스트 생성 능력을 통해 정보 처리, 요약, 방안 도출 등에 활용되며 주목받고 있다. 특히, 복잡한 상황 분석과 대응 방안 제시에 높은 잠재력을 보이며 국방 분야에서도 많은 관심을 받고 있다. 그러나, 지휘통제 환경은 여러 행위자에 의하여 높은 복잡성과 불확실성을 띄게 되며, 상황에 따른 긴박성을 고려하여 신속한 의사결정을 요구하는 고난도의 영역이다. 따라서, 생성형 AI 만을 사용하는 것으로는 실질적인 작전 지원에 한계가 존재한다. 그러므로, 지능형 지휘통제체계 구축을 위해 인간의 명시적인 지시 없이도 주어진 목표를 스스로 달성하는 AI 에이전트 기반의 구조적 통합이 필수적이다.

AI 에이전트는 주어진 목표를 달성하기 위해 환경을 스스로 인식(Observe)하고, 자신이 사용할 수 있는

도구와 검색 증강 생성(RAG, Retrieval-Augmented Generation) 등의 기법을 자율적으로 사용해 획득한 외부 지식 등을 활용하여 다음 행동을 계획하고 실행(Action)하도록 설계된 자율적 소프트웨어 시스템을 의미한다[1]. 이러한 AI 에이전트 개념은 민간 영역을 중심으로 발전해왔기 때문에, 국방 분야에 적용하기 위해서는 지능형 지휘통제 시스템의 환경 요소를 고려한 통합 아키텍처 설계가 필요하다.

본 연구는 지능형 지휘통제 시스템의 실시간성과 신뢰성 확보 등의 고도화를 위하여 확장 가능한 모듈 구조로 설계된 AI 에이전트 구조를 제안한다. 제안하는 구조는 모듈 단위로 구성되어 MCP(Model Context Protocol), A2A(Agent to Agent) 등 새로운 모듈 적용을 위한 구조 변경 및 확장이 용이하며, 실시간 감지, 상황 인지, 외부 정보 참조, 의사결정 지원, 보안성 확보를 통합적으로 고려하며, RAG 를 적용하여 신속하고 정확한 지휘통제를 지원하는 AI 에이전트의 가능성을 제시한다.

II. 본론

제안하는 구조는 그림 1 과 같이 전통적인 의사결정 [2]구조 및 AI 에이전트 사이클 구조인 Sense-Think-Act 구조 [3], [4], [5]를 따르도록 설계하였다.

본 논문에서 제안하는 AI 에이전트 구조는 그림 2 와 같다. AI 에이전트는 컨트롤 센터, 센서, 실행기로

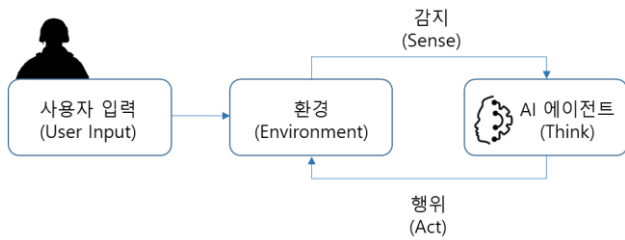


그림 1. 제안 구조의 Sense-Think-Act 기반 흐름도

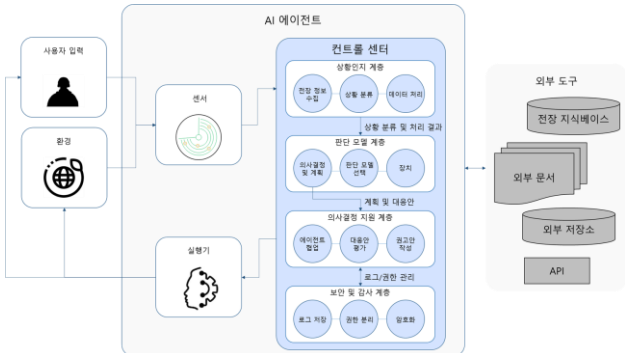


그림 2. 제안하는 확장 가능한 AI 에이전트 구조도

구성되며, 컨트롤 센터는 상황인지 계층, 판단 모델 계층, 의사결정 지원 계층, 보안 및 감사 계층 모듈로 구성된다. 컨트롤 센터의 각 계층은 지휘 통제 환경에 맞추어 상황 인지-추론-의사 결정-보안 및 감사 기능을 수행하기 위한 요소(component)로 추상화 된다.

우선, 컨트롤 센터는 전체 워크플로우를 관리하고, AI 에이전트를 구성하는 계층의 통제를 담당하는 오케스트레이터 LLM으로 동작한다. 각 모듈 및 요소는 컨트롤 센터의 통제에 따라 유기적으로 동작한다. 상황인지 계층은 다양한 센서 및 사용자로부터 획득된 전장 정보 및 데이터베이스/지식베이스로부터 전장 정보를 실시간 수집/저장/분석하며, 사용자의 요청 및 상황을 인식한다. 판단 모델 계층은 상황인지 계층 결과로부터 획득된 사용자의 상황에 적합한 판단 모델을 적용하여 의사결정 및 계획을 수립한다. 판단 모델의 경우 단일 모델로 구성될 수 있으며, 인사/작전/군수 등 특화 모델을 선택하여 사용하는 다중 모델로 구성될 수 있다. 또한, 판단 모델은 상황인지 계층 및 사용자로부터 획득된 정보를 종합적으로 분석 및 판단하며, 필요한 경우 RAG 등을 통하여 외부 지식베이스로부터 실시간 정보를 검색하거나, MCP 등을 통해 외부 도구 및 자료를 사용할 수 있도록 한다. 판단 모델 계층으로부터 생성된 의사결정 결과는 의사결정 지원 계층을 통하여 요약되며, 이를 바탕으로 몇가지 가능한 대응 방안을 생성한다. 생성된 대응 방안은 교리·교범에 기초하여 위험 점수 등 지휘 결심에 도움되는 정보를 추가하여 보고서 등의 형태로 지휘관에게 제공된다. 지휘관은 생성 결과를 지휘 결심에 활용하며, 이후 전달 받은 권고안의 신뢰도 및 품질평가를 실시한다. 피드백 결과는 보안 및 감사 계층에서 사용자 별로 관리되며, 사용자 성향을 분석하여 사용자 별 다음 의사결정 지원 절차에 반영한다. 또한, 에이전트 협업 모듈은 다중 AI 에이전트 협업 간 전달받은 정보를 반영하여 권고안을 작성할 수 있도록 한다. 보안 및 감사 계층은 로그의 저장 및 사용자의 정보 접근 권한을 분리/관리하여 생성된 질의/응답을 검열하여 AI 에이전트의 설명 가능성 및 보안성, 사용자의 권한에 따른 질의/응답 결과 검열 및 권한 분리, 메시지 암호화 기능을 수행한다. 실행기는 판단 결과를 다른 AI 에이전트에게 전달

하거나, 명령 추천을 통해 사용자의 작전 실행을 지원한다.

제안 구조는 단순히 생성형 AI를 사용한 데이터베이스 검색 기능 및 추론 기능을 넘어, 상황 인지-정보 통합-판단-보안 및 감사, 의사결정 결과 관리 및 복기에 이르는 전체 지휘통제 체계의 자동화 및 지능화 기능이 적용되어 있으며, 모듈 구조로 설계되어 유연한 확장이 가능한 장점이 존재한다.

III. 결론

본 연구에서는 지능형 지휘통제 시스템의 고도화를 위하여 Sense-Think-Act 구조를 따르는 확장 가능한 모듈 단위로 구성된 AI 에이전트 구조를 제안한다. 본 연구는 RAG 모듈을 컨트롤 센터 내부의 판단 모델 계층의 장치로 포함하여 정보 보강과 판단 근거 생성을 효과적으로 지원하는 모델을 설계하였다. 또한, AI 에이전트를 상황인지 계층과 판단 모델 계층, 의사결정 지원 계층, 그리고 보안 및 감사 계층의 모듈 형태로 설계하여 기능별 설계 용이성을 강화하였으며 추후 A2A 및 MCP 등 새로운 기능 적용 및 구조 변경이 용이하도록 설계하였다.

이와 같은 지휘통제 시스템의 도입은 보안성과 폐쇄성이 강조되는 지휘통제 체계에서 상황인식 모델의 정확성 향상과 지휘관의 의사결정 보조에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 연구로는 제안 구조를 다중 AI 에이전트 기반 지휘통제를 바탕으로 한 상황 공유 및 협동 의사결정이 가능하도록 다중 에이전트 시스템(MAS, Multi-Agent System)에 적용 가능한 구조로 확장하거나, 실제 전장 환경에서의 적용을 통해 지능형 지휘통제 체계에서 제안 구조의 실증성이 검증되기를 기대한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023 년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(KRIT-CT-23-021)

참 고 문 헌

- [1] Julia Wiesinger, Patrick Marlow and Vladimir Vuskovic "Agents," Google Whitepaper, Sep. 2024.
- [2] Boyd, J. R. "A Discourse on Winning and Losing. Unpublished briefing," U.S. Air Force, 1987.
- [3] Russell, S. & Norvig, P. "Artificial Intelligence: A Modern Approach (3rd ed.)," Prentice Hall, 2010.
- [4] Brooks, R.A. "Intelligence without representation," Artificial Intelligence, 47, 139- 159, 1991.
- [5] Maes, Pattie, ed. "Designing autonomous agents: Theory and practice from biology to engineering and back," MIT press, 1990.