

AI Framework를 기반으로 하는 LLM-MCP 통합 아키텍처에 관한 설계 및 프로토타입 모듈 구현

박성일, 윤태현*, 양재균**

엔소프트, *한국전자통신연구원, **엔소프트

sipark@nsoft.co.kr, *thyoon0820@etri.re.kr, **gjyang@nsoft.co.kr

Design and prototype module implementation of an LLM-MCP integration architecture based on AI Framework.

Sung Il Park, Tae Hyun Yoon*, Jae Gun Yang**

Nsoft corp., ETRI*, Nsoft corp**

요약

본 논문에서는 AI Framework 기반으로 구축된 정보화 시스템의 지능화를 목표로 AI 프레임워크 기반의 LLM(Large Language Model)-MCP(Multi Content Protocol) 통합 아키텍처를 제안한다. 제안된 아키텍처는 다양한 산업 현장 데이터를 효율적으로 수집하고, LLM을 통해 고차원적인 정보 분석 및 의사결정 지원 기능을 제공하기 위한 기반을 제공한다. 특히, 멀티 콘텐츠 프로토콜을 활용하여 비정형 데이터를 포함한 다양한 형태의 데이터를 통합 처리하는 방안을 제시한다. 또한, 제안된 아키텍처의 실효성을 검증하기 위해 핵심 기능을 포함하는 프로토타입 모듈을 구현하고, 그 결과를 분석한다. 본 연구는 스마트 제조 환경에서 데이터 기반의 지능형 서비스 제공을 위한 새로운 가능성을 제시할 것으로 기대한다.

I. 서론

오늘날 제조 현장의 정보화 시스템은 생산성 향상 및 효율적인 운영 관리를 위한 핵심 인프라로 자리매김하였다. WMS(Warehouse Management System), MES(Manufacturing Execution System)와 같은 기존의 정보화 시스템은 정형화된 데이터 처리 및 관리에는 효과적이었으나, 변화하는 비즈니스 요구사항에 대한 유연성이 부족하다는 한계를 드러내고 있다. 특히 새로운 KPI(Key Performance Indicator)를 추가하거나, 분석하고 싶은 정보의 형태가 다양해짐에 따라 시스템 변경 시 개발자의 개입이 필수적이라는 점은 시스템의 민첩성을 저해하는 주요 요인으로 작용한다.

더욱이 급변하는 산업 환경과 맞물려 생산 설비의 추가, KPI의 변화, 운영 정책의 조정 등 다양한 상황 변화가 끊임없이 발생하고 있다. 기존의 정적인 정보화 시스템은 이러한 변화에 능동적으로 대응하지 못하고 시스템 업데이트 및 유지보수에 상당한 시간과 비용이 소요된다는 문제점을 안고 있다.[1] 따라서 변화하는 환경에 동적으로 대응하고, 사용자의 요구에 따라 실시간으로 정보 제공 및 분석이 가능한 지능형 정보화 시스템의 필요성이 절실히 요구되는 시점이다. 이러한 지능형 정보화 시스템의 구현을 위해 빅데이터, 산업 4.0, 사물 인터넷(IoT), 클라우드 컴퓨팅, 사이버-물리 시스템(CPS), 디지털 트윈(DT), 그리고 차세대 인공지능(AI)과 같은 지능형 기술들이 활용되며 다양한 첨단 제조 패러다임이 제안되고 있다 [2].

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 AI 프레임워크 기반의 LLM-MCP 통합 아키텍처를 제안하고, 프로토타입 모듈 구현을 통해 그 가능성을 검증하고자 한다.

II. 본론

본 연구에서는 앞서 제기된 기존 정보화 시스템의 한계를 극복하고, 변화하는 제조 환경에 유연하게 대응할 수 있는 지능형 시스템의 구축을 위해 AI 프레임워크 기반 LLM-MCP 통합 아키텍처를 설계하고 주요 기능에 대한 프로토타입 모듈을 구현하여 검증하였다. 이러한 지능형 시스템의 한 예로, 제조 실행 시스템(MES) 환경에서 데이터 기반 의사결정을 지원하기 위해 광범위한 생산, 품질, 자산 및 자재 정보를 신속하고 정확하게 분석할 수 있는 시스템이 요구되며, 기존 MES 데이터 관리 방식의 한계를 극복하고자 하는 연구가 진행되고 있다 [3]. 특히 제안하는 전체 구조 중 다음과 같은 핵심 영역에 대한 설계 및 프로토타입 구현에 초점을 맞추었다.

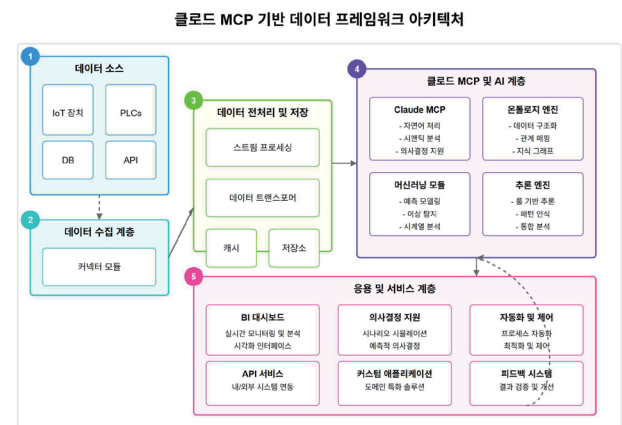


그림 1. 클라우드 MCP 기반 데이터 프레임워크 아키텍처

1) 멀티 콘텐츠 프로토콜(MCP) 파트 검증 및 프로토타입 구현

본 연구에서는 다양한 형태의 산업 현장 데이터를 효율적으로 통합하고 관리하기 위해 MCP 기반의 데이터 처리 방안을 설계하고 그 가능성을 검증하는 프로토타입 모듈을 구현하였다. 프로토타입은 텍스트, 이미지, 센서 데이터 등 이기종 데이터를 MCP 표준에 따라 통합적으로 표현하고 이를 효율적으로 저장 및 관리할 수 있도록 설계되었다. 구현된 프로토타입을 통해 다양한 데이터 소스로부터 수집된 정보가 MCP를 통해 일관성 있게 처리될 수 있음을 확인하였으며 이는 향후 LLM 기반의 지능형 분석 및 서비스 제공을 위한 핵심 기반 기술이 될 수 있음을 시사한다.

2) 기존 I/O(데이터 인터페이스) 부분과의 연계 검증 및 프로토타입 구현

기존 WMS/MES 시스템과의 원활한 연동은 제안하는 통합 아키텍처의 중요한 요구사항이다. 이에 본 연구에서는 기존 시스템에서 활용되는 주요 데이터 인터페이스(예: DB 연동, API)와의 연동 방안을 설계하고 프로토타입을 구현하여 검증하였다. 구현된 프로토타입은 기존 시스템의 데이터베이스로부터 필요한 정보를 추출하고 이를 MCP 형태로 변환하여 통합 아키텍처 내에서 활용될 수 있도록 구성되었다. 또한 외부 시스템과의 API 연동을 통해 실시간 데이터를 수집하고 처리하는 기능을 구현하여 제안하는 아키텍처가 기존 정보화 자산과의 호환성을 확보할 수 있음을 확인하였다.

3) 동적 화면 구현 영역 검증 및 프로토타입 구현

사용자 편의성을 향상하고 시스템의 유연성을 극대화하기 위해 본 연구에서는 실제 화면 부분을 동적으로 구성할 수 있는 영역에 대한 검증 및 프로토타입 구현을 진행하였다. LLM의 추론 결과를 기반으로 사용자에게 필요한 정보만을 선별적으로 제공하고 사용자의 질의에 따라 화면 레이아웃 및 콘텐츠를 실시간으로 변경할 수 있는 인터페이스를 설계하였다. 구현된 프로토타입은 자연어 기반의 사용자 질의를 이해하고 그에 맞는 데이터 시각화 결과 또는 분석 정보를 동적으로 생성하여 화면에 표시하는 기능을 포함한다. 이는 개발자의 개입 없이 사용자가 원하는 형태의 정보를 실시간으로 확인할 수 있도록 지원하며 시스템 활용도를 크게 향상시킬 수 있음을 보여준다.

본 장에서는 제안하는 LLM-MCP 통합 아키텍처의 핵심 구성 요소에 대한 설계 및 프로토타입 구현 결과를 제시하였다. 각 프로토타입 구현을 통해 제안하는 아키텍처의 기술적 feasibility를 확인하였으며 향후 실제 산업 현장에 적용하기 위한 기반을 마련하였다.

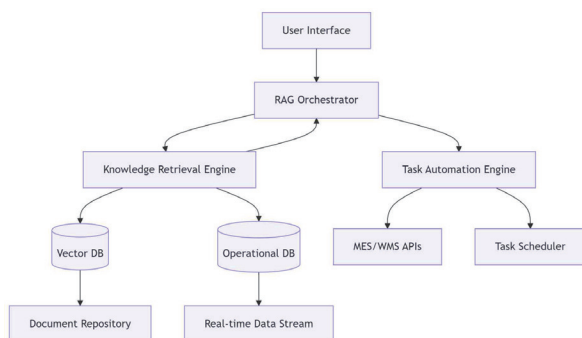


그림 2. 클라우드 MCP 및 AI 계층 다이어그램

III. 결론

본 연구에서는 기존 WMS/MES 정보화 시스템의 정적인 한계를 극복하고 변화하는 제조 환경에 능동적으로 대응하기 위해 AI 프레임워크 기반의 LLM-MCP 통합 아키텍처를 제안하였다. 제안된 아키텍처는 멀티 콘텐츠 프로토콜을 통해 다양한 형태의 산업 현장 데이터를 효율적으로 통합하고 LLM을 활용하여 고차원적인 정보 분석 및 지능형 의사결정 지원 기능을 제공하는 것을 목표로 한다.

본론에서는 제안하는 아키텍처의 핵심 요소인 MCP 기반 데이터 처리, 기존 I/O 시스템과의 연동, 동적 화면 구현 영역에 대한 프로토타입 모듈을 설계 및 구현하고 그 가능성을 검증하였다. 프로토타입 구현 결과는 제안하는 아키텍처가 이기종 데이터 통합, 기존 시스템과의 호환성 확보, 사용자 맞춤형 정보 제공 측면에서 효과적임을 시사한다.

결론적으로 본 연구는 AI와 MCP 기술의 융합을 통해 기존 정보화 시스템의 유연성과 지능성을 획기적으로 향상시킬 수 있는 새로운 프레임워크를 제시하였다는 점에서 의의를 가진다. 향후 실제 산업 환경에서의 적용 및 성능 평가를 통해 본 연구의 실질적인 가치를 더욱 확고히 할 수 있을 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 한국전자통신연구원 기본사업과 울산광역시-ETRI 공동협력사업의 지원을 받아 수행되었음. [25ZS1210, 산업현장에서의 사람-이동체-공간 자율협업지능 기술 개발, 25AB1600, 제조 혁신을 위한 주력산업 지능화 기술 개발 및 산업현장에서의 사람-이동체-공간 자율협업지능 기술 개발]

참 고 문 헌

- [1] J. Wan, X. Li, H. -N. Dai, A. Kusiak, M. Martínez-García and D. Li, "Artificial-Intelligence-Driven Customized Manufacturing Factory: Key Technologies, Applications, and Challenges," in Proceedings of the IEEE, vol. 109, no. 4, pp. 377-398, April 2021, doi: 10.1109/JPROC.2020.3034808.
- [2] Baicun Wang, Fei Tao, Xudong Fang, Chao Liu, Yufei Liu, Theodor Freiheit, "Smart Manufacturing and Intelligent Manufacturing: A Comparative Review," 2021, Engineering, 7, 6, 738-757. 10.1016/j.eng.2020.07.017.
- [3] Hangseo Choi, Jongpil Jeong, "Domain-Specific Manufacturing Analytics Framework: An Integrated Architecture with Retrieval-Augmented Generation and Ollama-Based Models for Manufacturing Execution Systems Environments," Processes 2025, 13, 670. <https://doi.org/10.3390/pr13030670>.