

인공지능 기반 MOSA 준수 평가 시스템 설계

김재우, 이재민, 김동성*

ICT융합특성화연구센터, *금오공과대학교

{jaewookim, ljmpaul, dskim*}@kumoh.ac.kr

Design of MOSA Compliance Evaluation System Based on Artificial Intelligence

Jae Woo Kim, Jae Min Lee, *Dong Seong Kim

ICT convergence Research Center, * Kumoh National Institute of Technology

요약

모듈형 개방형 시스템 접근법(MOSA)은 국방 시스템에서 개방성과 모듈화를 통해 신속한 기술 혁신과 상호운용성을 달성하기 위한 필수 전략으로 주요 무기 체계 획득 시 MOSA 적용이 법적으로 요구될 정도로 그 중요성이 크다. 수작업에 의존한 기존의 MOSA 평가 방식은 방대한 설계 문서 검토에 많은 시간과 비용이 소요되고 주관적 편차의 위험이 있다. 본 논문에서는 인공지능(AI)을 활용한 MOSA 자동 평가 소프트웨어 시스템 설계를 제안한다. 제안된 시스템은 프로그램의 설계 문서와 아키텍처 데이터를 입력으로 받아 인공지능 알고리즘을 통해 모듈성, 개방형 표준 준수, 재구성 용이성, 공급업체 종속성 등 MOSA 핵심 기준에 대한 준수도를 자동으로 예측 평가하는 AI 기반 평가 접근법을 제시한다.

I. 서론

MOSA(Modular Open Systems Approach)는 개방형 표준에 따른 모듈화된 설계를 통해 시스템 수명주기 전반에 걸쳐 경쟁력 있고 유연한 획득과 유지보수를 가능하게 하는 통합 사업·기술 전략이다[1]. MOSA는 기존 폐쇄형 시스템의 한계를 극복하고 기술 변화에 신속히 대응하기 위한 방안으로, 미국 국방부는 주요 사업에 MOSA 적용을 의무화하고 있다[2]. 따라서 개발된 시스템이 어느 정도 MOSA 원칙을 준수하고 있는지 평가하는 일이 중요하다. 기존의 수동적·분산된 MOSA 준수 평가 방식의 한계는 전문가가 방대한 아키텍처 설계 문서를 일일이 검토해야 하므로 많은 시간과 노력이 필요하고, 평가자별 주관에 따른 편차가 발생할 수 있다. 따라서 MOSA 준수도를 보다 신속하고 일관되게 평가할 자동화된 도구의 필요성이 제기된다. 인공지능을 활용하면 과거의 평가 사례로부터 학습하여 새로운 시스템의 MOSA 준수도를 예측 평가할 수 있으며, 평가 프로세스의 효율성과 객관성을 크게 높일 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문에서는 인공지능 기반 MOSA 자동 평가 시스템 설계를 제안한다. 제안 시스템은 텍스트 또는 모델 형태로 된 시스템 아키텍처 설계 정보를 입력으로 받아, 사전에 학습된 인공지능 모델을 통해 MOSA 준수 여부를 자동으로 분석·평가한다. 또한 MOSA 평가를 위한 주요 기준들을 정의하고, 해당 기준에 대한 정량적 점수 산출 및 부합 여부 예측을 수행하는 소프트웨어 아키텍처를 구상한다. 본 연구는 MOSA 원칙 준수 여부를 보다 효과적으로 검증하여 MOSA 도입 취지인 개방형 아키텍처 실현을 지원할 수 있는 실용적 아이디어를 제시한다.

II. 본론

1. MOSA 원칙과 평가 기준

MOSA는 5대 핵심 원칙(필러)을 중심으로 시스템 설계와 획득을 유도한다. (1) 실행 환경 조성 - 모듈화와 개방형 설계를 장려하는 조직적·계약적 환경 구축, (2) 모듈식 설계 - 높은 응집도와 느슨한 결합도를 갖는 모듈 단위로 시스템을 설계 (3) 주요 인터페이스 지정 - 모듈 간 상호작용을 위한 핵심 인터페이스를 식별 및 표준화, (4) 개방형 표준 활용 - 인터페이스를 산업계에서 합의된 공개 표준에 따라 구현 (5) 적합성 검증 - 표준 준수 여부를 검증할 체계적 방법(테스트, 인증 등)을 마련.

이러한 원칙을 통해 모듈 재사용과 교체 용이성, 상호운용성, 다수 공급업체 참여를 달성하고 궁극적으로 경쟁 촉진, 혁신 도입, 비용 절감 등의

효과를 얻는 것이 MOSA의 목표이다. MOSA 준수도 평가란, 특정 시스템이 상기한 MOSA 원칙들을 얼마나 충족하고 있는지를 측정하는 것이다. 과거 Open Systems Joint Task Force에서 개발한 MOSA 프로그램 평가 도구(PART)에서도 MOSA 구현 정도를 평가하기 위해 실행 환경, 모듈식 설계, 주요 인터페이스, 개방 표준, 적합성의 5가지 지표를 사용하였다. MOSA 평가는 설계 구조(모듈성), 표준 사용 여부(개방성), 설계 유연성(재구성성), 기술/공급망 전략(벤더 독립성), 프로세스 체계(검증) 등으로 구분하여 종합적으로 이루어진다.

2. 제안하는 인공지능 기반 MOSA 자동 평가 시스템

그림 1은 제안하는 자동 평가 시스템 소프트웨어의 구조이다. 본 연구에서 제안하는 MOSA 자동 평가 시스템은 인공지능 알고리즘을 활용하여 앞서 정의한 MOSA 평가 기준들을 자동으로 분석하는 소프트웨어 도구이다. 그 개념적 구조는 그림 1과 같으며, 입력 데이터 처리부, AI 평가 엔진, 결과 보고 생성부의 세 부분으로 나눌 수 있다.

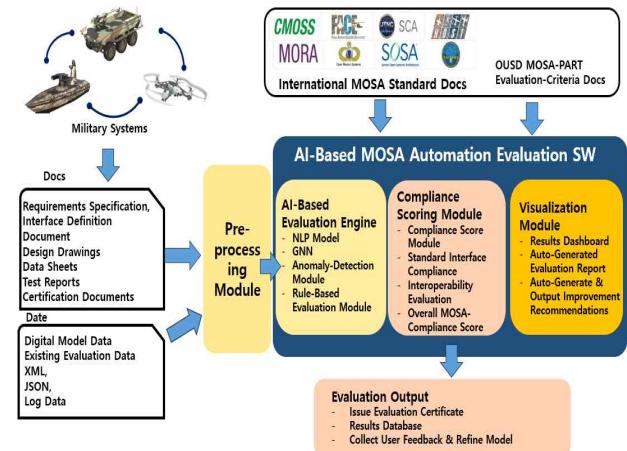
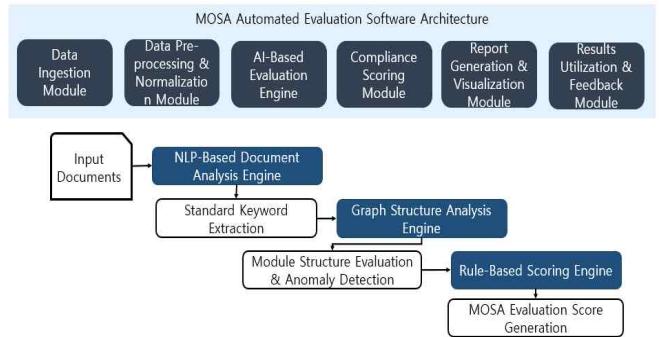


그림 1 제안하는 인공지능 기반 MOSA 자동 평가 시스템
첫째, 입력 데이터 처리 단계에서는 평가 대상 시스템의 아키텍처 정보를 수집하고 전처리한다. 입력은 다양할 수 있는데, 예를 들어 시스템 설계 문서 (요구사항 명세, 설계서), 모델 기반 시스템 공학(MBSE) 도구에서 추출한 모델 (SysML 다이어그램 등), 인터페이스 제원서(ICD) 등이 될 수 있다. 제안 시스템은 이러한 입력으로부터 평가에 필요한 특징 (feature)들을 추출한다. 텍스트로 된 문서의 경우 자연어 처리(NLP)를 통해 주요 키워드 (예: "표준 프로토콜", "인터페이스", "API" 등)와 서술된

아키텍처 속성을 파싱한다. 모델 데이터의 경우, 구성요소의 수와 계층, 상호 연결 관계 그래프, 사용된 인터페이스 표준 식별자 등을 추출한다. 이 단계에서는 시스템의 모듈 구조, 인터페이스 목록, 사용 기술 스택 등의 정보가 머신러닝 알고리즘이 다룰 수 있는 수치 또는 범주형 데이터 형태로 변환된다. 이러한 특징 추출 과정은 MOSA 평가 기준마다 관련된 지표를 뽑아내는 작업이라고 볼 수 있다. 예를 들어, 모듈성 평가를 위해 모듈 간 결합도(coupling)나 계층 깊이 등을 계산하고, 개방형 표준 평가를 위해 인터페이스 명세에 등장하는 표준 규격 명칭(예: Ethernet, POSIX, FACE 등) 횟수를 집계하는 식이다. 둘째, AI 평가 엔진은 본 시스템의 핵심으로서, 머신러닝 모델을 통해 MOSA 준수도를 판정한다. 이 엔진에는 사전에 준비된 학습 모델이 탑재되어 있으며, 앞 단계에서 추출된 특징 데이터를 입력으로 받아 MOSA 준수 점수 또는 등급을 출력한다. 머신러닝 기법으로는 지도학습(supervised learning)을 적용할 수 있는데, 과거에 MOSA 준수 여부가 전문가에 의해 평가된 여러 시스템 사례 데이터를 학습시켜 신규 시스템에 대한 평가를 예측하도록 하는 것이다. 예를 들어, 입력 특징과 이에 대응하는 전문가 평가 점수(정답)로 학습한 인공신경망이나 결정트리 모델은 새로운 시스템의 데이터를 넣으면 각 기준에 대한 예측 점수를 산출할 수 있다. 각 MOSA 평가 기준별로 개별 모델을 둘 수도 있고, 다중출력 모델이 한 번에 종합 평가를 내놓을 수도 있다. 예를 들어, 한 시스템이 모듈성이 매우 우수하면 모듈성 점수 5, 인터페이스가 일부 전용 규격이라 개방성이 부족하면 개방형 표준 점수 2와 같이 평가되는 식이다. 이처럼 점수 산출을 통해 시스템의 MOSA 준수도를 수치화하여 정량적으로 표현하면, 절대 평가나 타 시스템과의 상대 비교에 모두 활용할 수 있다. 머신러닝 모델의 학습을 위해서는 충분한 학습 데이터 확보가 필수적이다. 그러나 MOSA 준수도 평가 사례가 체계적으로 축적되어 있는 경우는 드물기 때문에, 본 제안에서는 전문가 지식을 활용한 데이터 생성 및 증강도 고려한다. 예를 들어, 소수의 기존 시스템에 대한 MOSA 평가 자료(설계 문서 및 그에 대한 전문가 평점)가 있다면 이를 기반으로 학습할 수 있다. 추가로, 시뮬레이션을 통해 가상적인 아키텍처 시나리오를 다수 생성하고 전문가 규칙에 따라 준수도 점수를 부여함으로써 학습 데이터를 늘릴 수도 있다. MOSA 평가에는 명확한 규범(예: "인터페이스는 공개 표준을 준수해야 함")이 존재하므로, 이러한 규칙을 지식 기반(knowledge base) 형태로 시스템에 내재화하고, 부족한 부분은 기계학습으로 보완하는 하이브리드 접근도 가능하다. 예컨대, 인터페이스 명칭이 표준 목록에 포함되어 있는지 여부는 규칙기반으로 판단하고, "설계 설명 문장에서 개방형 아키텍처에 대한 의지가 얼마나 언급되었는가" 같은 모호한 평가는 NLP 머신러닝 모델로 판단하게 할 수 있다. 이처럼 전문가 시스템과 학습 기반 시스템의 장점을 결합하면 작은 데이터 셋으로도 효과적인 평가가 구현될 것으로 기대된다.셋째, 결과 보고서 생성 단계에서는 AI 평가 엔진이 산출한 평가 결과를 사람 이해에 용이한 형태로 제공한다. 시스템은 전체 MOSA 준수도에 대한 종합 점수(예: 100 점 만점 환산 또는 등급)와 함께 세부 기준별 점수, 그리고 주요 개선 필요 요소에 대한 설명을 보고서 형태로 출력한다. 예를 들어 "모듈성: 4점 - 대다수 컴포넌트가 독립적으로 교체 가능하나 X 서브시스템은 Y 모듈과 밀접히 결합되어 있음"과 같은 식으로, 왜 특정 기준에서 감점되었는지를 해설 형태로 제시한다. 이러한 설명을 위해 설명 가능 인공지능(XAI) 기법이나 사전에 정의된 규칙 기반 해설을 활용한다. 결과 보고서는 개발자나 시스템 설계자뿐 아니라 프로젝트 관리자, 심사자가 쉽게 볼 수 있도록 대시보드 UI로도 구현될 수 있다. 이처럼 자동화된 평가 결과는 MOSA 준수 향상을 위해 어떤 조치를 취해야 하는지 방향을 제시해주는 유용한 자료가 된다. 제안된 AI 기반 MOSA 평가 시스템은 MOSA 원칙 중 "적

합성 검증"의 자동화를 지원하는 도구로 볼 수 있다. 기존에는 MOSA 준수도를 확인하기 위해 체크리스트에 의존하거나 간헐적 테스트를 수행했다면, 본 시스템 도입으로 설계 단계부터 지속적으로 준수도를 모니터링 할 수 있다. 이는 디지털 엔지니어링 및 모델기반 시스템공학과 연계하여 설계와 평가의 병행을 가능하게 해준다. 설계자가 시스템 모델을 업데이트할 때마다 자동 평가를 수행해 실시간 피드백을 제공함으로써, 개발 초기부터 MOSA 원칙에 어긋나는 설계 선택을 바로잡을 수 있다. 또한 본 시스템은 표준화된 평가 기준을 내장하고 일관된 알고리즘을 사용하므로, 여러 프로젝트 간 평가 결과의 일관성을 확보할 수 있다. 다양한 시스템에 적용하면서 데이터가 축적될수록 머신러닝 모델의 정확성도 향상되어, 시간이 지남에 따라 더욱 신뢰도 높은 도구로 발전할 것이다.



III. 결론

본 논문에서는 인공지능 기반의 MOSA 자동 평가 시스템 설계를 제안했다. 제안된 시스템은 시스템의 설계 문서와 아키텍처 데이터를 입력받아 자연어 처리 및 머신러닝 알고리즘을 통해 MOSA의 핵심 원칙인 모듈성, 개방형 표준 준수, 재구성 용이성 등을 정량적으로 평가한다. 이러한 자동화된 접근 방식은 평가 과정의 효율성과 객관성을 획기적으로 향상시킬 수 있다. 또한, 개발 초기 단계부터 설계 변경에 따른 MOSA 준수도를 지속적으로 모니터링하고 실시간 피드백을 제공함으로써, 잠재적인 설계 결함을 조기에 발견하고 수정할 수 있도록 지원한다. 이는 MOSA의 근본 취지인 개방형 아키텍처의 성공적인 구현을 촉진하고, 시스템 수명주기 전반에 걸쳐 유연성과 경쟁력을 확보하는 데 기여할 것이다.

향후 연구로는 더 많은 실제 국방 시스템 평가 사례 데이터를 축적하여 AI 평가 모델의 정확도와 신뢰성을 고도화하고, 다양한 국제 MOSA 표준(CMOSS, MORA 등)을 평가 기준에 통합하여 적용 범위를 확장하는 과제가 남아있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업과 기초연구사업과 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업의 연구결과로 수행된 연구임 (2018R1A6A1A03024003, 2022R1I1A1A010701058, IITP-2025-RS-2024-00438430)

참 고 문 헌

- [1] U.S. Department of Defense. "Modular Open Systems Approach (MOSA) Implementation Guide for Program Managers." Version 1.1, 2022.
- [2] Defense Standardization Program Office, "DoD Modular Open Systems Approach (MOSA) Overview," 2024.