

MOSA 기반 무인체계용 엣지 AI 통합 프레임워크 설계

김재우⁺, 권익현⁺, 이재민^{*}, 김동성^{*}

⁺ICT융합특성화연구센터, ^{*}국립금오공과대학교 전자공학부

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

Design of a MOSA-Based Edge AI Integration Framework for Unmanned Defense Systems

Jae-Woo Kim⁺, Ik-Hyun Kwon⁺, Jae-Min Lee^{*} and Dong-Seong Kim^{*}

{ICT Convergence Center⁺, Dept. of IT Convergence Engineering^{*}}Kumoh National Institute of Technology

요약

본 논문은 UAV·UGV·USV 등 국방 무인체계에 적용 가능한 MOSA 기반 엣지 AI 통합 프레임워크를 제안한다. 제안하는 프레임워크는 계층형 아키텍처와 표준화된 인터페이스를 통해 모듈 교체·재사용성, 실시간 자율성, 상호운용성을 확보하였으며, 이를 통해 차세대 무인 전투체계의 유연한 전력 운용과 신속한 기술 적용을 지원할 수 있음을 분석하였다.

I. 서론

국방 분야에서 무인항공기(UAV), 무인지상차량(UGV), 무인수상정(USV) 등 무인체계의 역할이 증대됨에 따라, 인공지능(AI) 기술을 현장에 직접 적용하는 엣지 컴퓨팅의 중요성이 커지고 있다. 임베디드 컴퓨팅과 AI를 탑재한 엣지 플랫폼은 무인체계의 성능을 결정짓는다. 엣지 AI 기술은 센서 데이터의 수집->AI 기반 판단->제어에 이르는 전 과정을 엣지단 플랫폼 자체에서 처리한다[1]. 이는 전장 환경의 실시간 의사결정 요구에 대응하고 전장 자율성 확보 및 유·무인 복합체계(Manned-Unmanned Teaming)의 효율적인 운용에서도 필수적인 요소다.

기존 국방 무인체계 개발은 플랫폼별로 독자적인 하드웨어·소프트웨어(HW/SW) 구조를 가지는 중복성과 기술 종속, 상호운용성 결여 등의 문제가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 모듈형 개방형 시스템 접근법(MOSA, Modular Open Systems Approach)이 국제적으로 주목받고 있다[2]. MOSA는 모듈화·표준화된 인터페이스를 통해 신속한 기능 교체와 업그레이드를 가능케 하며, 미국은 2019년 이후 무기체계 획득 시 MOSA 적용을 법으로 의무화했다. 한국 역시 2024년부터 K-MOSA 명명된 정책을 본격 추진하여 플랫폼 계열화와 장비 모듈화를 통해 양산성, 정비성, 전력 유연성을 높이고 있다. K-MOSA의 “계열화”란 임무 목적에 따라 대표 플랫폼을 표준화하고 이를 기반으로 무인체계를 개발하는 것을 의미하며, “모듈화”란 계열화된 플랫폼에 대해 임무 목적에 따라 필요한 임무장비를 선택 장착할 수 있도록 하는 것을 뜻한다. K-MOSA 정책을 적용하면 방산업체는 표준화된 무인 기체와 장비를 신속하고 저렴하게 양산할 수 있고, 야전 부대는 모듈화된 장비를 쉽게 교체하여 전력 조합의 유연성을 높이고 원활한 정비와 성능개량을 도모할 수 있을 것으로 기대된다. MOSA 개념은 미국의 FACE(Future Airborne Capability Environment), CMOSS(C5ISR/EW Modular Open Suite of Standards) 등의 표준과 더불어 국방 무인체계의 개방형 공통 아키텍처를 정립하려는 국제적 흐름이며, 한국형 K-MOSA 역시 이와 궤를 같이하여 다종의 무인플랫폼에 공통 적용 가능한 개방형 엣지 AI 프레임워크 수립을 지향하고 있다[3]. 본 논문은 UAV/UGV/USV에 공통 적용 가능한 HW/SW MOSA 기반 엣지 AI 통합 프레임워크 설계를 제시한다. 모듈화 및 인터페이스 표준화를 기

반으로 계층형 구조와 데이터 흐름 아키텍처를 구체화하고, 적용 시나리오를 통해 모듈 재사용성과 실시간 자율성 확보 전략을 제안한다.

II. 본론

1. MOSA와 개방형 아키텍처

MOSA는 개방형 시스템 아키텍처 구현을 위한 전략으로, 시스템을 표준화된 모듈 인터페이스로 연결해 상호운용성과 업그레이드 유연성을 확보하는 방법론이다. 핵심은 “높은 응집도, 낮은 결합도”의 모듈을 정의하고 이를 기계 가독적 표준 인터페이스로 연결하는 것이다. 공통 인터페이스 표준을 통해 모듈 교체 시 영향 범위를 최소화하고 부분 인증으로 변경을 수용할 수 있다. 미국은 이를 구체화하기 위해 FACE, CMOSS, SOSA(Sensor Open Systems Architecture), OMS(Open Mission System) 등 분야별 개방형 표준을 제정했으며, 모두 모듈화·표준화 기반의 개방형 플랫폼을 지향한다[4-6]. K-MOSA는 국제 표준을 참고해 육·해·공 무인플랫폼에 공통 적용 가능한 한국형 아키텍처 표준을 마련하는 정책이다. 대표 플랫폼 계열화와 임무 모듈화를 통해 국내 방산업체의 모듈 개발을 촉진하고, 유무인 복합체계 조기 구축과 수출 경쟁력 확보를 목표로 한다. 향후 K-MOSA 표준은 미국 MOSA 및 NATO 사례를 반영하여 규모별 표준 인터페이스, 공통 데이터 버스, AI/자율제어 모듈 인터페이스 등을 포함할 예정이며, 본 논문 제안 프레임워크에도 반영해 한국군 운용환경에 최적화할 수 있다.

2. 엣지 AI 통합 프레임워크 시스템 및 데이터 흐름

본 절에서는 MOSA 원칙에 따른 무인체계 엣지 AI 통합 프레임워크를 제안한다. 제안하는 프레임워크는 계층형 아키텍처로, 하드웨어-미들웨어-응용 계층으로 구성되며 각 계층은 표준화된 인터페이스로 결합된다. 그림1은 MOSA기반 엣지 AI 통합 프레임워크 계층형 아키텍처이다.

하드웨어 플랫폼 계층: 최하위 계층으로 무인플랫폼의 기본 하드웨어 계층이다. 기체/차체, 구동계, 배터리, 센서·액추에이터 및 임베디드 컴퓨팅 모듈로 구성된다. VPX 표준슬롯, CAN, 이더넷 등 표준 규격을 적용해 교체·확장이 용이하며, LRU(Line-Replaceable Unit) 개념으로 신속한 정비와 다중 플랫폼 호환을 지원한다. 모든 하드웨어는 MIL-STD 규격을 충족해 전장 환경에서도 운용 가능하도록 설계한다.

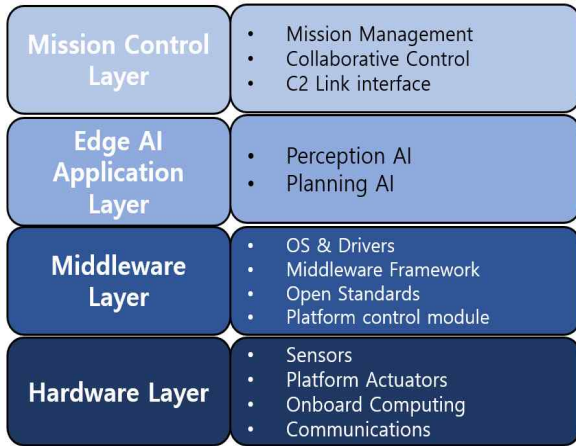
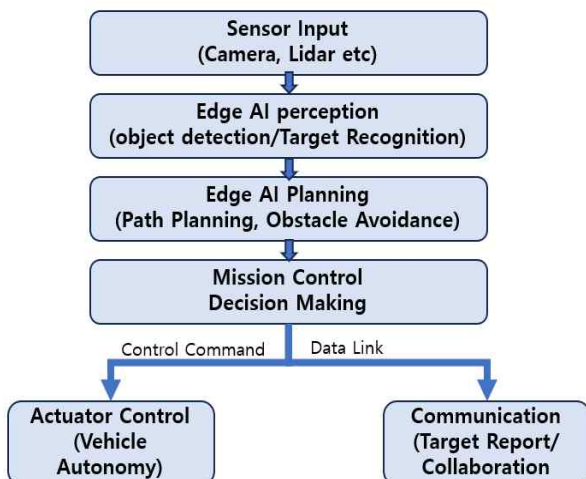


그림 1 MOSA기반 엣지 AI 통합 프레임워크 계층 구조

플랫폼 추상화 및 OS/미들웨어 계층: HAL(Hardware Abstraction Layer)는 드라이버가 다양한 센서 데이터를 표준화된 메시지로 제공하며, ROS2-DDS 기반 발행/구독 모델을 통해 데이터 버스를 형성한다. OS는 RTOS 또는 POSIX 기반을 적용하고, JAUS-STANAG 4586 같은 국제 표준을 준수해 상위 모듈이 하드웨어에 독립적으로 동작하도록 한다. 핵심은 상위 응용 모듈이 하드웨어 세부 구현에 의존하지 않도록 이 계층이 표준화된 인터페이스의 미들웨어 역할을 수행하는 것이다

엣지 AI 응용 및 임무 제어 계층: 엣지 AI 응용 계층은 객체 인식, 표적 탐지, 경로계획, 군집제어 등 AI 모듈과 자율제어/임무 모듈이 배치된다. 각 모듈은 표준 메시지 형식을 따르며, 교체·업그레이드 시에도 호환성을 유지한다. AI 출력은 임무 제어 계층으로 전달되고, 경로설정, 임무관리, 행동결정등의 로직을 수행하여 최종 제어 명령을 도출한다. 최종 제어 명령은 하위 계층을 통해 하드웨어 액추에이터로 실행된다.

데이터 흐름(OODA 루프): 센서 입력 → AI 분석(객체 탐지/상황인식) → 자율제어 모듈 의사결정(경로계획, 우선순위) → 액추에이터 제어·지휘소 보고. 모든 경로는 표준화돼 있어 센서나 알고리즘 교체 시에도 영향이 최소화되며, 병렬·분산 처리 확장도 가능하다. (그림2)



3. 시나리오 적용 및 유연성 분석

제안하는 MOSA 기반 엣지 AI 프레임워크의 효과를 검증하기 위해 두 가지 시나리오를 가정하여 유연성을 분석하였다. 첫째 이기종 무인체계 간 AI 모듈 재사용 시나리오는 UAV와 UGV가 동일한 표적 인식 AI 모듈을 공유하는 사례다. 기존에는 항공기와 지상차량용 알고리즘을 각각 개발해야 했지만, 본 프레임워크에서는 표준화된 데이터 토크(VideoStream, DetectedObjectList 등)를 사용해 동일 모듈을 두 플랫폼에 탑재할 수 있

다. 이를 통해 중복 개발을 방지하고 학습데이터·알고리즘 자산 공유로 비용·시간을 절감하며, 성능이 검증된 모듈을 신속히 타 플랫폼에 이전 적용할 수 있다. 둘째 임무 전환에 따른 모듈 교체 시나리오는 USV가 평시에는 정찰 모드, 유사시에는 기뢰제거 모드로 전환하는 상황이다. MOSA 기반 플랫폼에서는 동일한 선체에 센서·장비 모듈을 교체 장착할 수 있고, 소프트웨어 역시 표준 인터페이스 기반 모듈로 손쉽게 교체 가능하다. 예를 들어 정찰 모드에서는 탐색·식별 AI가, 기뢰제거 모드에서는 탐지·제거 AI가 활성화된다. 운영자는 모드 전환 명령만으로 필요한 모듈 세트를 호출할 수 있으며, 이는 마치 스마트폰에서 앱을 교체하듯 유연하다. 결과적으로 하나의 플랫폼으로 다양한 임무를 수행할 수 있고, 신규 임무도 모듈 추가만으로 확장 가능하다. 제안하는 시나리오를 기반으로 다음과 같이 프레임워크의 유연성을 분석할 수 있다.

표 1 제안하는 프레임워크 유연성 분석

분석항목	평가
모듈 교체 용이성	HW/SW 모두 표준화된 인터페이스 기반으로 교체 시 영향 최소화, 민첩한 업그레이드 가능.
다중 플랫폼 호환성	동일 모듈을 다양한 플랫폼에 활용해 계열화·부품 공용화, 유지비 절감.
상호운용	UAV가 탐지한 표적정보를 UGV와 공유하거나, 드론 군집의 스웜링 제어가 공통 프로토콜로 가능.
실시간성·신뢰성	미들웨어 QoS 설정으로 제어 메시지의 deterministic 처리 보장, 모듈화로 테스트·디버깅도 용이.
확장성	신형 AI 칩, 차세대 통신기술 등도 표준 인터페이스만 유지되면 해당 모듈만 교체하여 즉시 적용 가능.

III. 결론

제안하는 MOSA 기반 엣지 AI 통합 프레임워크는 국방 무인체계의 설계를 폐쇄형에서 개방형으로 전환하고 독립계층적으로 구분하여 모듈화를 실현한다. 제안하는 프레임워크가 구체적 표준화와 시제품 개발에 적용되어 진다면 모듈화·지능화된 차세대 무인체계 구현에 기여할 것이다. 본 논문은 향후 실증 연구와 국제 표준화 논의의 기초 자료가 될 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업과 지역지능화혁신인재양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임(IITP-2024-RS-2024-00438430, IITP-2025-RS-2020-II201612), 2025년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업과 기초연구사업으로 수행된 연구임(2018R1A6A1A03024003).

참 고 문 헌

- [1] Yazid, Y., Ez-Zazi, I., Guerrero-González, A., El Oualkadi, A., & Arioua, M. "UAV-enabled mobile edge-computing for IoT based on AI: a comprehensive review". Drones, 2021.
- [2] Defense Standardization Program Office, "DoD Modular Open Systems Approach (MOSA) Overview," 2024.
- [3] 장영현, 윤정환, 허장욱. "K-MOSA 기반 무인수상정 설계 및 획득 전략 연구". 한국산학기술학회 논문지, 26(6), 217-224.2024.
- [4] The Open Group, FACE Technical Standard Edition 3.0 2019.
- [5] U.S Army, CMOSS Reference Architecture v3.0, 2020.
- [6] SOSA Consortium, Sensor Open Systems Architecture Technical Standard 1.0 2019.