



Received: 2026/05/08
Revised: 2026/05/20
Accepted: 2026/06/09
Published: 2026/06/30

***Corresponding Author:**

Gi Il Choi

83, Sangjidae-gil, Wonju-si, Gangwon State,
Republic of Korea

Tel: +82-33-7300-8221

E-mail: choigiil81@sangji.ac.kr

K-MOSA를 적용한 울산급 Batch-IV 호위함 무장통제장비(4종) 공통화 방안 연구

Abstract

본 연구는 울산급 Batch-IV 호위함에 탑재되는 무장통제장비(4종)를 대상으로 K-MOSA 개념을 적용한 하드웨어 공통화 방안을 제시하는 데 목적이 있다. 무장 4종은 임무 특성에는 차이가 있으나, 신호처리, 데이터 연산, 인터페이스 관리 등 하드웨어 측면에서는 공통 기능을 요구한다. 이에 문헌연구와 기능 분석을 바탕으로 공통 하드웨어 플랫폼 구조를 제안하였다. 연구 결과, 장비 간 호환성, 부품 공통화율, 유지보수 효율성, 개발 및 생산 효율 향상 측면에서 효과가 기대된다. 본 연구는 체계개발단계에서 K-MOSA 기반 무장통제장비(4종) 공통화 방향을 제시한 개념설계연구로서 의미를 가진다.

In this study, we propose a hardware commonization approach for four types of weapon control systems installed on the Ulsan-class Batch-IV frigate by applying the K-MOSA concept. Although the four guided weapon types differ in mission characteristics, they require common hardware functions such as signal processing, data computation, and interface management. Based on a literature review and functional analysis, a common hardware platform structure is proposed. The results suggest that the proposed approach improves equipment interoperability, module commonality, and maintenance, development, and production efficiency. This study is meaningful in that it presents a conceptual design direction for the commonization of four types of weapon control systems based on K-MOSA at the research and development phase.

Keywords

한국형 계열화·모듈화(K-MOSA),
울산급 호위함(Ulsan-Class Frigate),
무장통제장비(Weapon Control Systems),
공통화(Commonization),
정비 효율성(Maintenance Efficiency)

Acknowledgement

본 연구는 2024~2025년도 대한민국 국방부의 '국방무인체계 총수명주기관리방안 연구'(국방부본부 공고 제 2024-25호) 정책연구의 내용을 포함하고 있으며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

A Study on the Commonization of Weapon Control System (Four Types) for the Ulsan-Class Batch-IV Frigate Based on K-MOSA

정진은¹, 최기일^{2*}

¹LIG 디펜스&에어로스페이스(주) 미사일시스템사업부 수석매니저

²상지대학교 군사학과 교수

Jin Eun Jeong¹, Gi Il Choi^{2*}

¹Chief manager, Department of Missile Systems Business (Naval Missile System), LIG Defense&Aerospace

²Professor, Department of Military Studies, Sangji University

1. 서론

최근 해군 전력은 다양한 환경에 대응하기 위해 대함, 대지, 대공, 대잠 등 다영역 작전 수행 능력을 요구받고 있으며[1], 이에 따라 함정에 탑재되는 무장체계 또한 복합화·다기능화되고 있다. 특히 호위함은 제한된 플랫폼 내에서 다양한 임무를 수행해야 하는 대표적인 수상전투함으로서[2], 효율적인 무장 운용체계 구축이 필수적이다.

이러한 환경 변화에 대응하기 위해 울산급 Batch-IV 호위함은 기존 대비 향상된 전투체계와 다양한 유도무기를 통합 운용하는 방향으로 개발이 추진되고 있으며, 그 핵심 구성장비 중 하나로 무장통제장비가 포함된다. 무장통제장비(4종)는 함대함유도탄, 전술함대지유도탄, 대함유도탄방어유도탄, 장거리대잠어뢰와 같은 주요 유도무기의 운용 및 발사 통제를 담당한다[3].

무장통제장비(4종)는 무장 종류별로 독립적으로 개발·운용되는 경향이 있어, 장비 간 구조적 중복성이 발생할 가능성이 있다. 이러한 중복성은 유지보수 비효율로 이어질 수 있다. 이에 본 연구는 울산급 Batch-IV 호위함에 탑재되는 무장통제장비(4종)의 운용성

과 유지보수 효율성을 극대화하기 [3] 위한 방안으로, 한국형 계열화·모듈화(K-MOSA, Korea tailored modular open systems approach) ([4], p. 35)를 적용한 하드웨어 공통화 방안을 제시한다.

2. 이론적 고찰 및 선행연구

2.1 한국형 계열화·모듈화

모듈식 개방형 시스템 접근(MOSA, modular open systems approach)은 미 국방성이 첨단 무기체계의 복잡성, 무기체계의 장기 운용 특성을 고려하여 충수명주기 동안 운영유지비를 최소화하고 운용 효율성을 향상시키기 위해 도입한 모듈화 개념의 시스템 설계 방식이다 [5].

이러한 MOSA 개념을 국내 무기체계 환경에 적용한 것이 K-MOSA이며, 우리 군은 충수명주기관리 관점에서 무인체계 및 무인 전력지원체계에 대한 계열화·모듈화 방안을 적용하기 위하여 K-MOSA를 제도화하여 추진하고 있다 [6].

K-MOSA의 적용은 정비 접근성과 운용성 향상 측면에서 중요한 의미를 가진다. 이를 위해서는 모듈화와 개방형 구조를 고려한 설계가 필요하다. 또한 K-MOSA는 부품단종 문제에 유연하게 대응할 수 있다는 장점을 가진다. 즉, 성능, 비용, 일정 등을 종합적으로 고려한

개방형 시스템과 모듈화 개념을 활용함으로써 체계의 설계 및 개발 유연성을 제고할 수 있다 [7].

K-MOSA 개념은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 플랫폼 계열화, 임무장비 모듈화, 상호운용성 확보를 핵심 요소로 한다. 첫째, 플랫폼 계열화는 대형·중형·소형 무인체계를 주요 범주로 구분하고, 임무목적에 따라 다양한 장비와 모듈을 교환·적용할 수 있도록 한다. 둘째, 임무장비 모듈화는 임무특성에 맞추어 장비를 신속하게 변경할 수 있도록 함으로써 임무수행 능력을 극대화하는 데 목적이 있다. 셋째, 상호운용성은 하드웨어와 소프트웨어의 통합성 및 표준화를 통해 체계 간 데이터 호환성과 임무수행 효율성을 제고하는 개념이다.

2.2 울산급 호위함

FFG라는 함정 분류 명칭에서 FF는 호위함(frigate)을, G는 유도미사일(guided missile)을 의미한다. 따라서 FFG는 유도미사일을 탑재한 호위함으로 해석할 수 있다. 현대 해군에서 호위함의 주요 임무는 대공전, 대함전, 대잠전, 호송 및 호위 임무로 구분된다. 또한 호위함은 대형 함대의 일부로 편성되어 운용될 수 있을 뿐만 아니라, 독자적으로도 임무를 수행할 수 있다. 따라서 호위함은 다양한 임무를 수행하면서 특히 호위와 방어 기능에 강점을 지닌 수상전투함이다 [2].

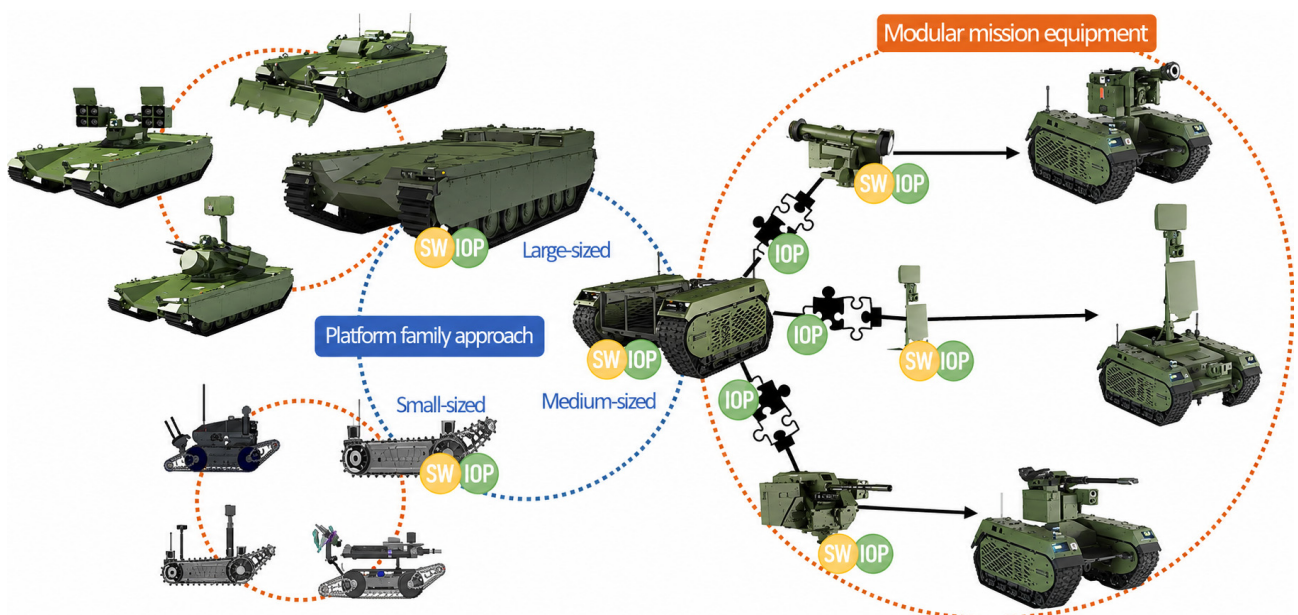


Fig. 1. K-MOSA concept [8]

울산급 Batch-III 호위함의 제원은 Table 1과 같다. 울산급 Batch-IV는 현재 개발이 진행 중인 호위함으로서 세부 제원과 형상이 공개되지 않은 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 동일 계열의 선행 플랫폼인 울산급 Batch-III 호위함의 공개 제원을 참고 사례로 활용하여 플랫폼 규모와 운용 특성을 설명하였다.

Table 1. Reference specifications of the Ulsan-class Batch-III frigate[9]

Category	Description	
	Length	129.0 m
	Beam	14.8 m
Light Displacement	Approximately 3,600 tons	
Representative Ships	Chungnam, Gyeongbuk	

2.3 무장통제장비(4종)

무장통제장비(4종)는 함대함유도탄, 전술함대지 유도탄, 대함유도탄방어유도탄, 장거리대잠어뢰와 같은 함정의 유도무기의 운용과 발사를 통제하는 장비이다[9].

이들 유도무기는 기능별로 방어, 대함공격, 대지타격, 대잠공격 체계로 구분된다. 함대함유도탄(anti-ship missile)은 함정에서 발사되어 적 수상함을 원거리에서 타격하는 공격용 유도무기에 해당한다[10,11]. 전술함대지유도탄(land attack missile)은 함정에서 발사되어 지상 전술표적을 정밀 타격함으로써 해상 화력지원 임무를 지원하는 함대지 유도무기로 정의할 수 있다[9], ([12], p. 2). 대함유도탄방어유도탄(surface-to-air anti-missile)은 함정 탑재형 근접·단거리 방공 유도무기로, 적의 대함유도탄과 항공기 위협을 요격하여 함정의 생존성을 보장하는 유도무기이다[13,14]. 장거리대잠어뢰(vertical launch anti-submarine rocket)는 원거리 잠수함 표적을 공격하기 위한 수상함 탑재 대잠 유도무기이다[15,16].

교전 단계에서 운용자가 무장체계를 선택하면, 무장통제장비가 발사시점(timing), 요격지점(intercept points), 발사제원(firing parameters)을 계산한다. 즉, 무장통제장비는 실제 발사 순간에 필요한 교전 파라미터를 계산하고 무장 운용을 수행하는 역할이다[17]. 무장통제장비는 복수의 조립체로 구성되며,

그 형상은 Fig. 2에 나타난 바와 같다.



Fig. 2. Conceptual configuration of a weapon control system, adapted from [18]

3. 무장통제장비(4종) 하드웨어 공통화

본 연구에서는 무장통제장비(4종)가 수행하는 기능을 기준으로, 무장통제장비(4종)에서 하드웨어 공통화 가능성이 요구되는 공통 기능(common function)[19]과 각 유도무기에 한정되어 요구되는 전용 기능(dedicated function)[20]으로 구분하였다.

공통 기능과 전용 기능의 구분은 기능의 반복성, 무장 의존성, 하드웨어 공통화 가능성을 기준으로 수행하였다. 여기서 반복성은 특정 기능이 무장통제장비(4종)에서 반복적으로 요구되는 정도를 의미하며, 무장 의존성은 해당 기능이 각 유도무기의 임무 특성, 교전 방식, 유도 방식 또는 인터페이스 구조에 종속되는 정도를 의미한다. 또한 하드웨어 공통화 가능성은 해당 기능을 수행하는 하드웨어 모듈이 무장통제장비(4종)에서 동일한 형상과 인터페이스로 구현될 수 있는 정도를 의미한다. 이러한 기준은 복수 체계에서 반복적으로 요구되는 기능을 공통화 대상으로 보는 공통 기능 개념[19], 임무에 한정되는 전용 기능 개념[20], 그리고 모듈식 설계와 표준 인터페이스를 통해 구성품의 교체성과 재사용성을 확보하는 MOSA 개념[5]에 근거하여 설정하였다.

즉, 유도무기 종류와 관계없이 동일한 기능 구조가 반복적으로 요구되고, 표준화된 하드웨어 구현이 가능한 기능은 공통 기능으로 분류하였으며, 각 유도무기의 임무 특성, 교전 알고리즘, 유도 방식에 따라 구현 방식이 달라지는 기능은 전용 기능으로 분류하였다.

이에 따라 신호처리, 데이터 연산, 인터페이스 관리 기능은 각 무장통제장비(4종)에서 공통적으로 수행되는 기능이다. 반면, 교전 알고리즘, 유도 제어, 표

적 처리 로직은 유도무기별 임무 특성, 교전 방식, 유도 방식 및 표적 처리에 따라 기능 구현 방식이 달라지므로 전용 기능으로 분류하였다. 이와 같은 분류 기준에 따라 무장통제장비(4종)의 기능을 공통 기능과 전용 기능으로 구분한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Results of functional analysis for weapon control systems

Category	Function	Classification	Reference
Signal processing	Sensor data processing	Common	[21]
Data computation	Fire control computation	Common	[22]
Interface Management	Weapon and sensor interfacing	Common	[21]
Engagement Algorithm	Target engagement logic	Dedicated	[21]
Guidance Control	Weapon-specific guidance method	Dedicated	[23], p. 17
Target Processing	Target selection and handling	Dedicated	[24]

기능분석 결과, 신호처리, 데이터 연산, 인터페이스 관리 기능은 무장통제장비(4종)에서 공통적으로 요구되는 핵심 기능으로 식별되었다. 이러한 기능은 Table 3와 같이 각각 FPGA 모듈, CPU 모듈, I/O 모듈을 통해 구현되며, 이는 하드웨어 공통화가 가능한 영역으로 판단된다. 그래픽(graphic) 모듈과 전원(power) 모듈은 각각 운용자 인터페이스 및 전원 공급과 관련된 공통 지원 기능을 수행하므로 공통화 대상 모듈에 포함할 수 있다.

무장통제장비(4종)의 하드웨어 공통화 가능성은 각 모듈이 수행하는 기능의 무장 의존성 수준에 따라 판단할 수 있다. 공통 하드웨어는 기능별 역할 분담이 명확한 모듈 구조를 전제로 한다. FPGA 모듈은 실시간 센서 신호의 고속 처리와 데이터 전처리를 담당하고[25], CPU 모듈은 제어 명령 및 상태정보의 연산과 시스템 제어 기능을 수행한다[26]. I/O 모듈은 센서 및 무장체계와의 물리적·논리적 인터페이스를 담당하며[27], 그래픽 모듈은 운용자 인터페이스와 화면 표시 기능을 제공한다[28]. 또한 전원 모듈은 각 기능 모듈에 안정적인 전원을 공급하고 전력 관리를 수행함으로써 체계 운용의 기반을 제공한다[29]. 이들 모듈은 유도무기별 교전 방식이나 유도 특성에 직접 종속되기보다는 무장통제장비 운용에 반복적으로 요구

되는 기반 기능을 수행하므로, 무장 종류와 관계없이 공통 적용이 가능한 하드웨어 영역으로 볼 수 있다.

다만, 본 연구에서 제안하는 하드웨어 공통화는 모든 세부 회로와 소프트웨어 로직을 동일화한다는 의미보다는, 동일한 모듈 형상, 전기적 인터페이스, 백플레인(backplane) 접속 구조를 기반으로 기능 구현 영역을 표준화한다는 의미이다. 공통 하드웨어는 백플레인을 중심으로 다수의 모듈이 결합되는 구조로 구성되며, 각 모듈은 동일한 기계적 형상과 인터페이스를 갖도록 설계하여 무장통제장비(4종) 간 상호 교체 가능하도록 한다.

Table 3의 모듈은 동일한 슬롯(slot) 규격, 즉 높이, 두께, 접속 인터페이스를 기준으로 설계된다. 이러한 무장통제장비(4종) 간 하드웨어 공통화를 실제 장비 구조로 구현하기 위한 기반이 된다.

Table 3. Hardware module configuration of WCS

Category	Description
FPGA module	Performs high-speed signal processing and data processing functions
CPU module	Performs fire control computation and system control functions
I/O module	Provides interface functions with sensors and weapon systems
Graphic module	Handles operator interface and display processing
Power module	Provides power supply and power management functions

4. 연구 결론

본 연구는 울산급 Batch-IV 호위함에 적용되는 무장통제장비(4종)를 대상으로, K-MOSA 기반의 공통화 방안을 검토하고 그 적용 가능성을 분석하였다. 최근 호위함은 대함·대지·대공·대잠 등 복합적인 위협에 동시에 대응할 수 있어야 하므로, 구성장비 간 상호운용성과 확장성, 정비 효율성 확보의 중요성이 커지고 있다. 이러한 측면에서 본 연구는 무장통제장비(4종)의 기능과 하드웨어 구조를 비교·분석하고, 공통화 가능한 요소를 도출하였다는 데 의의가 있다.

연구 결과, 무장통제장비(4종)는 유도무기별 임무와 교전 방식에는 차이가 있으나, 센서정보 처리, 사격통제 연산, 인터페이스 처리 등 핵심 기능에서는 공통성이 존재하는 것으로 나타났다. 반면 유도조종,

표적처리, 무장별 교전논리와 같은 기능은 개별 유도 무기의 특성에 따라 차별화되는 것으로 분석되었다. 이에 따라 하드웨어 측면에서는 FPGA, CPU, I/O, 그 래픽, 전원 모듈 중심의 공통 구조를 제안함으로써, 기능 재사용성과 향후 체계 확장 가능성을 확보할 수 있는 기반을 제시하였다.

이러한 K-MOSA 기반 무장통제장비(4종) 공통화 설계는 운용 효율성 향상, 유지보수 용이성 제고, 그리고 비용 절감 측면에서 이론적으로 긍정적인 효과가 예상된다.

먼저 운용 측면에서는 무장통제장비(4종) 간 하드웨어 모듈과 인터페이스의 표준화를 통해 장비 간 호환성이 향상되어 단순화가 가능하다. 이는 무장통제장비(4종) 운용의 일관성을 높이고 운용자의 부담을 경감하는 데 기여할 수 있다.

유지보수 측면에서는 공통 하드웨어 플랫폼과 동일 규격 모듈의 적용을 통해 부품 공통화율을 높일 수 있으므로, 예비부품 운용의 효율성이 향상될 수 있다. 또한 정비인력은 동일한 구조와 정비절차를 기준으로 장비를 관리할 수 있으므로 정비시간 단축과 정비체계의 단순화가 가능하다.

비용 측면에서는 무장별로 개별 하드웨어를 개발하는 방식에 비해 공통 플랫폼을 활용함으로써 중복 개발을 최소화할 수 있으며, 이는 체계개발비 절감으로 이어질 수 있다. 아울러 동일한 하드웨어 구조를 기반으로 생산이 이루어질 경우 생산 공정의 표준화가 가능하므로 생산 효율성 또한 향상될 것으로 기대된다.

본 연구는 체계개발단계에서 수행된 분석으로, 실제 무장통제장비(4종) 전력화 이후 운용 환경을 충분히 반영하지 못한 한계를 가진다. 특히, 제안된 K-MOSA 기반 공통화 설계의 효과는 이론적 분석과 설계 개념에 기반하여 도출된 것으로, 실제 운영유지 단계에서 발생하는 다양한 변수와 운용 조건을 충분히 고려하지 못하였다.

또한, 무장통제장비(4종)의 공통화에 따른 운용 효율성, 정비시간 단축, 비용 절감 효과는 정량적인 실적 데이터가 아닌 개념적 수준에서 제시되었다는 점에서 한계를 가진다. 따라서 본 연구 결과는 설계 방향 제시 및 개념 검증 수준에 머무르며, 실증적 검증이 추가적으로 요구된다.

참고문헌

- [1] Bryan Clark, *Commanding the Seas: The U.S. Navy and the Future of Surface Warfare*, Center for Strategic and Budgetary Assessments, 2017.
- [2] Ronald O'Rourke, *Navy Frigate (FFG(X)) Program: Background and Issues for Congress*, CRS Report R44972, Congressional Research Service, 2018.
- [3] 방위사업청, '차기 호위함의 완성, 울산급 Batch-IV 사업 착수 [보도자료]', 2025.01.22.
- [4] 오경원·정진은·김명훈·조환정·김동호, *공중 무인체계 총수명주기관리방안 연구*, 공군본부, 2026.
- [5] Defense Standardization Program Office, *Modular Open Systems Approach (MOSA)*, Official Website. <https://www.dsp.dla.mil/Programs/MOSA/> (accessed 2026.04.28.)
- [6] 국방부, *국방전력발전업무훈령*, 국방부훈령 제3151호, 2026.
- [7] 국방부, *총수명주기관리업무훈령*, 국방부훈령 제2779호, 2023.
- [8] 오경원·신승민·정진은·고성희·김종훈, *국방무인체계 총수명주기관리방안 연구 - 무인항공기(드론)를 중심으로*, 국방부, 발간등록번호 11-1291503-100001-01, 2025.
- [9] 해군본부·방위사업청, '해군 최선예 3600톤급 호위함 「경북함(FFG-829)」 진수 [보도자료]', 2025.06.20.
- [10] Sungpyo Hong, 'Review on the Improvement of Export Competitive Power in Korea Defense Industry,' *Journal of the Korea Association of Defense Industry Studies*, VOL. 14, NO. 2, 2007, pp. 133-162.
- [11] 방위사업청, *국산 최첨단 유도무기 실전배치*, 2006.03.24.
- [12] Michael S. Johnston, *An Analysis on the Survivability of Land Attack Missiles (LAM)*, Master's thesis, Naval Postgraduate School, 2000.
- [13] Orhan Karasakal, Nur Evin Özdemirel, & Levent Kandiller, 'Anti-Ship Missile Defense for a Naval Task Group,' *Naval Research Logistics*, VOL. 58, NO. 3, 2011, pp. 305-322. <https://doi.org/10.1002/nav.20457>
- [14] 방위사업청, '해군, 범상어 2차양산 통합착수회의 개최 [보도자료]', 2023.02.06.
- [15] 방위사업청, '장거리 대잠어뢰 "홍상어" 품질 개선 [보도자료]', 2014.05.26.
- [16] U.S. Navy, *Vertical Launch Anti-Submarine Rocket ASROC (VLA) Missile*. <https://www.navy.mil/Resources/Fact-Files/Display-FactFiles/Article/2169310/vertical-launch-anti-submarine-rocket-asroc-vla-missile/> (accessed 2026.04.23.)
- [17] Dorina Watermolen, *The Shield of the Fleet: The Aegis Combat System and Its Vital Role in U.S. Navy Operations*, Naval Sea Systems Command, 2025.06.23. <https://www.navsea.navy.mil/Media/News/Article-View/Article/4223263/the-shield-of-the-fleet-the-aegis-combat-system-and-its-vital-role-in-us-navy-o/> (accessed 2026.04.28.)
- [18] International Defense Security & Technology (IDST), *Fire Control System, Industry & Market Dynamics*.

<https://idstch.com/fire-control-system/industry-markets-supply-chains-cat/industry-market-dynamics-cat/> (accessed 2026.04.25.)

[19] Colin Snook, Michael Poppleton, & Ian Johnson, 'Rigorous Engineering of Product-Line Requirements: A Case Study in Failure Management, Information and Software Technology,' VOL. 50, No. 1-2, 2008, pp. 112-129.

<https://doi.org/10.1016/j.infsof.2007.10.010>

[20] Luis Fernando Friedrich & Mario A. R. Dantas, 'A Review of Operating System Infrastructure for Real-Time Embedded Software,' Journal of Communication and Computer, VOL. 12, 2015, pp. 273-285.

<https://doi.org/10.17265/1548-7709/2015.06.001>

[21] T. Mirgal, H. Shelar, A. Shah, & S. Wankhade, 'Combat Management Systems and Combat Training Systems,' Journal of Advance and Future Research, VOL. 4, NO. 1, 2026, pp. 382-391.

[22] S. G. Blaess, M. J. Christie, & J. L. Mitchell, 'Comet: A Naval Combat Management System Model for Combat Analysis,' in proceedings of the 24th International Congress on Modelling and Simulation, 2021, pp. 855-861.

[23] A. Ponsford, Multi-Sensor Management System for Navy Applications, Defence Research and Development Canada, DRDC-RDDC-2018-C240, 2018.

[24] Adiyasa Nurfalah, Suhono Harso Supangkat, & Eueung Mulyana, 'Effective & Near Real-Time Track-to-Track Association for Large Sensor Data in Maritime Tactical Data

System,' ICT Express, VOL. 10, NO. 2, 2024, pp. 312-319.

[25] Gabriel J. García, Carlos A. Jara, Jorge Pomares, Aiman Alabdo, Lucas M. Poggi, & Fernando Torres, 'A Survey on FPGA-Based Sensor Systems: Towards Intelligent and Reconfigurable Low-Power Sensors for Computer Vision, Control and Signal Processing,' Sensors, VOL. 14, NO. 4, 2014, pp. 6247-6278. <https://doi.org/10.3390/s140406247>

[26] Marcin Hubacz & Bartosz Trybus, 'Data Alignment on Embedded CPUs for Programmable Control Devices,' Electronics, VOL. 11, NO. 14, 2022, Article 2174.

<https://doi.org/10.3390/electronics11142174>

[27] João Pinheiro, Diogo Oliveira, Luis Neto, Vitor H. Pinto, & Gil Gonçalves, 'Development of an IEEE 1451 Plug-and-Play Module for Smart Transducers in Industrial Environments,' Sensors, VOL. 22, NO. 20, 2022, Article 7880. <https://doi.org/10.3390/s22207880>

[28] Naveen Kumar & Seul Chan Lee, 'Human-Machine Interface in Smart Factory: A Systematic Literature Review,' Technological Forecasting & Social Change, VOL. 174, 2022, Article 121284.

<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121284>

[29] Rodrigo Fernandez Feito, Tahreem Younas, & Richard M. Dinsdale, 'Evaluation of a Comprehensive Power Management System with Maximum Power Point Tracking Algorithm for Multiple Microbial Fuel Cell Energy Harvesting,' Bioelectrochemistry, VOL. 155, 2024, Article 108597.