

차세대 함정 전투체계를 위한 엣지 컴퓨팅 기반 프레임워크

김 경 선*, 장 민 희*, 류 주 연**, 정 병 인**, 이 재 민*, 김 동 성°

Edge Computing Based Framework for Next Generation Naval Ship Combat Systems

Gyeong-seon Kim*, Min-hui Jang*, Ju-yeon Ryu**, Byun-in Jung**,
Jae-min Lee*, Dong-seong Kim°

요 약

본 논문은 함정 통합네트워크의 하부 및 통제체계를 만족하는 차세대 함정 전투체계를 위한 함정용 엣지 컴퓨팅 기반 프레임워크를 제안한다. 이러한 프레임워크는 각 하부체계를 구성하는 각 노드들에 엣지 디바이스를 설치하여 다양한 이종 센서 및 노드들을 관리하는데 용이한 환경을 제공한다. 배치된 각 엣지 디바이스는 분산 처리를 통해 전투상황에서 신속한 상황 판단과 대처가 가능하도록 한다. 또한 각 노드와 엣지 디바이스는 Secure DDS 미들웨어를 기반 통신구조를 통해 향상된 실시간성과 보안성을 포함한다. 함정 전투체계 모의 환경에서 성능평가 결과, 하부체계 최종 서버를 통한 구조에 비해 컴퓨팅 지연시간이 낮음을 확인하였다. 또한 노드 수가 증가함에 따라 대용량 데이터 컴퓨팅 성능을 비교하여 제안하는 프레임워크가 높은 성능을 보임을 확인하였다.

Key Words : Naval Ship Combat System, Data Distribution Service, Edge Computing, Naval Ship Integration Network, Next Generation Naval Ship

ABSTRACT

This paper proposes an edge computing-based framework for combat for next-generation naval ship combat systems that satisfy the lower and control systems of combat integration networks. This framework provides an easy environment to manage various heterogeneous sensors and nodes by installing edge devices on each node constituting each subsystem. Each arranged edge device enables rapid determination and response in a combat situation through distributed processing. In addition, each node and edge device include enhanced real-time and security through a communication structure based on Secure DDS middleware. As a result of performance evaluation in a naval ship combat system simulation environment, it was confirmed that the computing latency was lower than that of the structure of through the final the subsystem server. Furthermore, as the number of nodes increases, Confirmed that proposed framework shows high performance of large-capacity data computing.

※ 본 연구는 대학중점연구소 지원사업(2018R1A6A1A03024003)과 2022년도 한화시스템(주)의 재원을 지원받아 수행된 연구임.

• First Author : Kumoh National Institute of Technology, Dept. of IT Convergence Eng., 20186114@kumoh.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Kumoh National Institute of Technology, Dept. of IT Convergence Eng., dskim@kumoh.ac.kr, 종신회원

* Kumoh National Institute of Technology, Dept. of IT Convergence Eng., jmhee@kumoh.ac.kr, 학생회원; ljimpaul@kumoh.ac.kr, 종신회원

** Hanwha Systems, Juyeon.ryu@hanwha.com; byungin1026.jung@hanwha.com

논문번호 : 202209-229-B-RU, Received September 29, 2022; Revised November 1, 2022; Accepted November 1, 2022

I. 서 론

합정 전투체계는 탑재된 각종 센서, 장비를 통하여 표적을 탐지하고 무장 통제 및 교전을 수행하는 복합 무기체계이다¹¹. 이러한 체계는 센서, 타격, 전투, 통신체계와 같은 다양한 체계들이 하나의 플랫폼에 탑재하고 운용되고 있다. 이는 실제 전시상황의 위협 요소 및 위급상황을 실시간으로 대처하기 위함이다¹². 합정의 전투체계들은 통제 측면으로 전투 관리, C4I(Command, Control, Communications, and Intelligence), 통합기관제어, 통신, 행정 체계로 구분될 수 있다. 이러한 합정의 하부체계는 다수의 센서 및 노드를 취급하는 서버를 탑재하여 데이터를 관리 및 운영하고 있다. 합정 전투체계는 요구사항 증대에 따라 다수의 클라이언트 및 서버의 탑재로 인해 복잡성이 증가하고 있다³⁻⁵. 이는 기능적으로 분리된 각 체계와 해당 체계에서 생성된 방대한 데이터의 양은 신속한 판단과 의사결정 및 대처가 요구되는 임무 수행 과정에서 컴퓨팅 지연시간이 증가하고 합정 체계 네트워크 부하로 인해 실제 전시상황에 영향을 끼칠 수 있음을 뜻한다⁶⁻⁸.

이러한 문제를 해결하기 위하여 합정 내부의 모든 체계를 통합하여 정보를 신속히 획득하고 확인, 판단, 통제하는 방안이 연구되고 있다⁹⁻¹¹. 이로써 유기적인 통합관리로 체계 접근성을 향상하고 가용성(Redundancy)을 확보하며 운용 인력을 감소할 수 있다. 이러한 정보를 효율적으로 통합, 관리하기 위하여 합정 하부체계를 구성하는 모든 유무선 네트워크를 사물인터넷 기반으로 체계를 통합하는 방안이 연구되고 있다¹². [13]은 엣지 컴퓨팅 기반 선박 네트워크 기법을 제안하였다. 이로써 제한된 자원에 비해 증가하는 대용량 데이터 처리 요구사항을 확보하였다. 그러나 이기종 장비의 호환성을 고려하지 않아 합정 네트워크의 확장성을 확보할 수 없고 보안성을 고려하지 않았다. [16]은 산업용 이기종 IoT 환경에서 상호 운용성 향상을 위한 Secure DDS(Data Distribution Service, DDS) 기반 산업용 통신망을 제안하였다. 그러나 합정 전투체계를 구성하는 고사양 장비와 대용량 데이터를 취급하기 위해서는 적합하지 않고 합정에서 요구하는 QoS를 고려하지 않았다.

따라서 본 논문에서는 통합 통제체계를 만족하는 차세대 합정 전투체계를 위한 프레임워크를 제시한다. 이는 엣지 기반 프레임워크를 통하여 다양화된 이종 센서 및 노드들을 관리하는데 용이한 환경을 제공할 수 있도록 한다. 또한 엣지 기반 분산처리를 통해 하

부체계들을 통합된 환경에서 신속한 상황 판단과 대처가 가능하도록 한다. 그리고 제안하는 기법의 합정 전투체계의 대용량 데이터 컴퓨팅을 고려하는 환경에 대한 성능 평가를 진행한다.

II. 관련 연구 및 문제점 분석

합정 전투체계는 다양한 서브 시스템이 하나의 플랫폼으로 운용되고 있는 대규모 분산 시스템이다. 하부체계에 탑재되는 노드 및 서버는 다수, 다종의 센서와 장비를 취급한다. 이때 생성되는 데이터를 종합적으로 분석 및 컴퓨팅한다. 현재 합정 전투체계는 실제 전시상황에서 즉각적으로 대처하기 위하여 하부 체계 구조 및 서브 시스템의 복잡성과 데이터의 양이 증가하고 있다. 따라서 차세대 합정 전투체계는 복잡성, 다양성을 고려한 데이터 실시간성과 정확성이 만족되어야 한다⁹⁻¹³. 이러한 합정 하부체계를 구성하는 모든 유무선 네트워크를 효율적으로 통합, 관리하기 위하여 다양한 방안이 연구되고 있다¹⁴.

그림 1은 [13]에서 설명하는 엣지 컴퓨팅 기반 선박 환경을 보여준다. 이러한 환경은 막대한 양의 해양 데이터를 실시간성과 에너지 효율성과 같은 요구사항을 만족해야 한다. 고화질 비디오와 같은 선박 데이터가 기하급수적으로 증가하여 제한된 자원과 과도한 트래픽을 가진 선박 환경과 해양 네트워크로 인해 전송 지연, 혼잡, 계산 작업의 실행 지연 그리고 이로 인한 과도한 에너지 소비 문제가 발생하고 있음을 뜻한다¹⁴⁻¹⁵. 따라서 [13]에서는 MEC(Mobile Edge Computing) 서버 기반 선박 통신 프로토콜을 보여준다. 또한 해상 통신 네트워크의 에너지 지연 트레이드 오프로 인한 동적 오프로드 문제를 조사하고 제한된 자원과 지연 요구사항을 고려하여 2단계 Joint

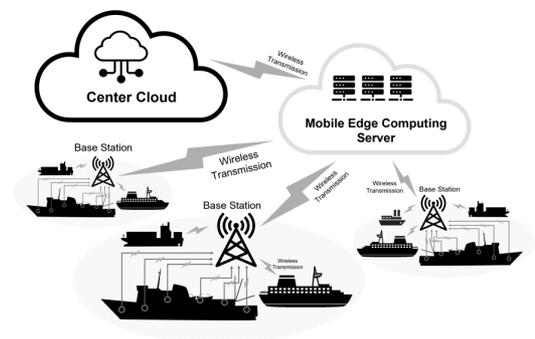


그림 1. 엣지 컴퓨팅 기반 선박 네트워크 프레임워크 구조도
Fig. 1. Overall Structure Diagram of Edge Computing based Framework for Maritime Network System

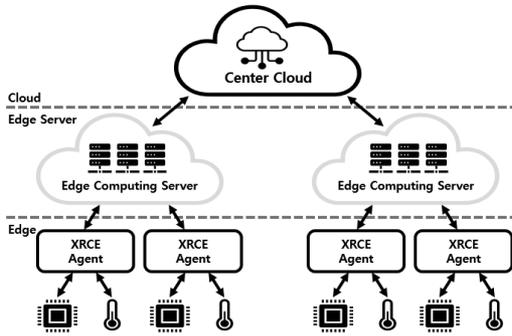


그림 2. 엣지 컴퓨팅 기반 산업용 IoT 프레임워크 구조도
Fig. 2. Overall Structure Diagram of Edge Computing based Framework for Industry IoT

Optimal Offloading Algorithm (JOOA)을 제안하였다. 그러나 이러한 방안은 함정 전투체계를 구성하는 이기종 장비의 호환성을 고려하지 않았다. 때문에 기존 시스템 및 하드웨어를 가진 함정을 향상하기 위하여 노드 및 센서를 추가하거나 최신 하드웨어로 교체할 경우 호환 문제와 비용, 시간의 문제가 발생할 수 있다. 또한 해당 환경은 일반 선박을 위한 환경으로 보안성을 고려하지 않았다.

그림 2는 [16]에서 제안하는 산업용 이기종 IoT 환경에서 상호운용성 향상을 위한 Secure DDS 기반 산업용 통신망을 보여준다. 리소스가 제한된 저사양 엣지 디바이스 환경에서 Discovery 과정의 경량화로 네트워크 부하를 줄였다. 그리고 XRCE-DDS (eXtremely Resource Constrained Environment DDS) 프로토콜을 통해 엣지 기반 장비의 Fieldbus 프로토콜 호환성을 높였다^[17,18]. 따라서 [16]에서 제안하는 기법은 산업용 IoT 통신망의 저지연, 고신뢰성, 실시간성에 대한 요구사항을 만족하여 유사한 요구사항을 가진 함정 네트워크에 적용하기 적합할 수 있다. 그러나 이러한 기법은 저사양 엣지 장비와 fieldbus 및 블루투스 호환을 목적으로 연구되었다. 따라서 함정 전투체계를 구성하는 고사양 장비와 대용량 데이터를 취급하기 위해서는 적합하지 않다. 또한 함정에서 요구하는 QoS를 고려하지 않았다^[19-20]. 따라서 복잡성, 다양성을 고려하고 무선과 유선 네트워크를 효율적으로 통합한 실시간성과 정확성을 만족하는 함정 전투체계를 위한 환경이 요구된다.

III. 엣지 컴퓨팅 기반 차세대 함정 전투체계

3.1 엣지 컴퓨팅 기반 차세대 함정 전투체계 아키텍처

그림 3은 본 논문에서 제안하는 차세대 함정 전투체계 컴퓨팅 부하 분산을 위한 엣지 기반 프레임워크이다. 함정의 하부체계를 구성하는 각 노드들은 분산 컴퓨팅을 위하여 엣지 디바이스가 설치되어 구성된다. 각 엣지 디바이스는 노드의 데이터 컴퓨팅을 수행하고 전송하는 역할을 한다. 이때 노드와 엣지 디바이스는 Secure DDS 미들웨어를 기반으로 한 통신구조를 가진다. Secure DDS는 기존 DDS의 성능인 Pub/Sub 기반 통신을 통해 다양한 엣지 디바이스를 포함한 함정 전투체계환경에서 실시간성을 만족한다. 또한 각 기종별 인터페이스를 요구하지 않아 신뢰성 있는 이기종 통신 환경을 구축할 수 있다^[19-21]. Secure DDS는 이와 더불어 보안 성능이 강화된 성능을 가진다^[22].

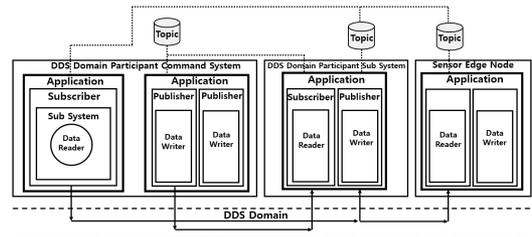


그림 3. 엣지 컴퓨팅 기반 함정 전투체계 프레임워크 구조도
Fig. 3. Overall Structure Diagram of Proposed Edge Computing based Framework for Naval Ship Combat System

3.2 하부체계 노드와 엣지간의 데이터 흐름 설계

그림 4는 함정 전투 체계의 하부체계에 설치된 엣지 디바이스에서 컴퓨팅 및 하부체계 서버로 결과 데이터를 Publish 하는 프레임워크를 나타낸다. 해당 프레임워크는 Secure DDS 미들웨어의 Discovery 과정 완료 후 진행된다^[23-24]. Discovery 과정은 새로 참가한 노드 발생 시, Domain Participant에 추가하도록 한다. 하부체계에 설치된 각 엣지 디바이스는 Domain Participant에 DataReader를 포함한 Subscriber와 DataWriter를 포함한 Publisher를 등록한다. 하부체계 서버의 Subscriber는 Domain Participant에 Subscriber Listener를 호출한다. 그리고 엣지가 컴퓨팅 결과를 Publish 하기까지 대기 상태를 유지한다. 엣지가 컴퓨팅 결과를 Global Space로 Publish 함을 감지하면 하부체계 서버는 컴퓨팅 결과를 Subscribe

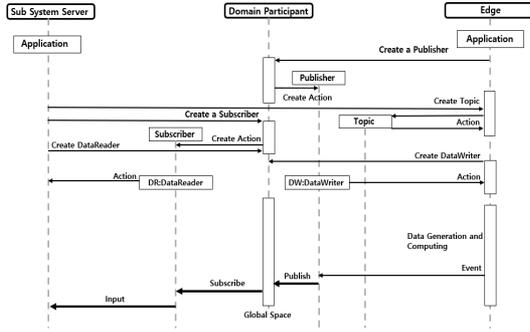


그림 4. 하부체계 Edge의 데이터 컴퓨팅과 Publish 프레임워크
Fig. 4. Framework of Subsystem Edge's Data Computing and Publish

하고 타 하부체계에 컴퓨팅 결과를 공유하도록 한다.

그림 5는 합정 전투 체계의 하부체계에 설치된 엣지 디바이스가 설치된 특정 하부체계 혹은 외부 하부체계로부터 Topic을 통해 작업 및 동작 명령을 지시하는 프레임워크를 나타낸다. 명령을 지시하고자 하는 외부 하부체계는 Domain Participant에 기존에 정의된 Topic을 포함한 Publisher를 호출한다^[25]. 외부 하부체계로부터 작업 및 동작 지시를 받고, 엣지 디바이스가 설치된 특정 하부체계는 Domain Participant에 기존에 정의된 Topic을 포함한 Subscriber와 Publisher를 등록하고 Subscriber Listener를 호출한다. 엣지 디바이스 또한 기존에 정의된 Topic을 보유하고 있으며 엣지 디바이스의 Subscriber는 Subscriber Listener를 호출한다. 이때 외부 하부체계는 호출한 Subscriber Listener를 통해 Subscribe 하여 특정 하부체계에 설치된 엣지 디바이스의 작업을 전달한다. 엣지 디바이스는 Subscriber Listener를 통해 특정 하부체계가 외부 하부체계로부터 Subscribe하고 이후 Publish한 명령을 기반으로 작업을 진행하여 분

산 컴퓨팅이 가능하도록 한다. 작업을 완료한 엣지 디바이스는 Publisher를 통해 설치된 하부체계로 결과 데이터를 전송하며 이러한 결과를 하부체계에서 판단 처리를 하고 명령 체계로 전송하는 역할을 수행하도록 한다. 이때 DDS 미들웨어의 특성으로 하부체계 측면에서 엣지 디바이스의 수가 증가하더라도 Endpoint의 유무에 의존성이 없어 지연시간이 증가하지 않는다^[26]. 또한 Topic을 이용하여 데이터를 Publish 및 Subscribe 하므로 엣지 디바이스가 추가되는 것에 대한 호환성을 만족한다. 때문에 상호 운용성과 개발 용이성 및 규모 가변성을 만족할 수 있다.

IV. 엣지 컴퓨팅 기반 차세대 합정 전투체계 프레임워크의 성능평가

4.1 시험환경 구성

성능평가에서 합정에 적군 합정을 감지하는 기능이 있다고 가정한다. 합정 전투체계 모의 환경의 경우, 적군 합정을 인식하는 컴퓨팅 작업을 하부체계 서버가 수행하도록 설정하였다. 반면에, 제안하는 엣지 컴퓨팅 기반 프레임워크는 각 엣지 디바이스들이 적군 합정을 감지하여 컴퓨팅 수행 결과만 하부체계로 전송하도록 설정하였다. 위와 같은 시나리오에서 성능분석을 위하여 $T_{Latency}$ 를 측정하였다. $T_{Latency}$ 는 총 지연시간으로 수식 (1)과 같다. 여기서 $T_{Generation}$ 는 데이터 획득, T_{Comm} 는 하부체계로 전송 지연시간, $T_{Detection}$ 는 데이터 컴퓨팅 지연시간, $T_{Command}$ 는 외부 하부체계로 전송 지연시간, $T_{Datasetting}$ 는 데이터셋 분석 시간을 뜻한다.

$$T_{Latency} = T_{Generation} + T_{Comm} + T_{Datasetting} + T_{Computing} + T_{Command} \quad (1)$$

$$T_{DataComputing} = T_{Datasetting} + T_{Computing} \quad (2)$$

$$T_{DDSLatency} = T_{Comm} + T_{Command} \quad (3)$$

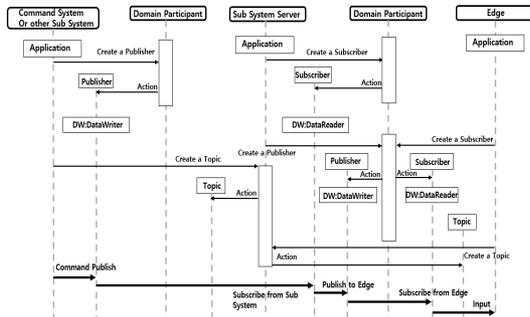


그림 5. 하부체계 Edge의 Subscribe 프레임워크
Fig. 5. Framework of Subsystem edge's Subscribe

실제 데이터 컴퓨팅에 소요되는 지연시간은 수식 (2)에 해당한다. 그리고 Secure DDS 미들웨어로 인해 데이터를 전송하는데 소요된 총 전송 지연시간은 수식 (3)에 해당한다. 데이터 전송 및 컴퓨팅 지연시간은 Wire Shark, Secure DDS 미들웨어 Samplinfo 내부에 정의된 source_timestamp 변수를 이용하여 측정하였다.

4.2 합정 전투체계 모의 환경 구성

성능분석을 위하여 합정 전투체계의 모의 환경을 그림 6의 좌측과 같은 환경을 구성하였다. 합정 전투체계는 합정 내부망을 사용하므로 각 센서와 Bridge 구조를 형성하여 구현하였다. 그리고 하부체계들과 명령체계는 DDS 미들웨어 Domain Participant에 추가하여 성능분석을 진행하였다. 하부체계는 4개의 적군 합정 감지를 위한 카메라를 취급한다. 4개의 카메라는 하부체계 서버로 영상 스트리밍한다. 하부체계의 서버는 영상 스트리밍 서버를 실시간 모니터링하며 적군의 합정이 감지된 경우 명령체계로 컴퓨팅 결과를 전송한다. 합정 전투체계 모의 환경의 성능분석을 위해 사용된 하부체계와 명령체계의 노드 사양은 표 1과 같다. 제안하는 엣지 프레임워크의 성능을 분석하기 위하여 그림 6의 우측과 같이 환경을 구성하였다. 실험 시나리오에는 합정 전투체계 모의환경과 동일하다. 4개의 적군 감지용 카메라를 설치하고 각 카메라는 엣지가 취급하고 있다. 합정 전투체계 모의환경과 다르게 각 엣지들이 적군 합정을 실시간 모니터링하고 적군 감지 시 컴퓨팅 결과 Command를 하부체계로 전송한다. 성능분석을 위한 하부체계의 노드 사양은 합

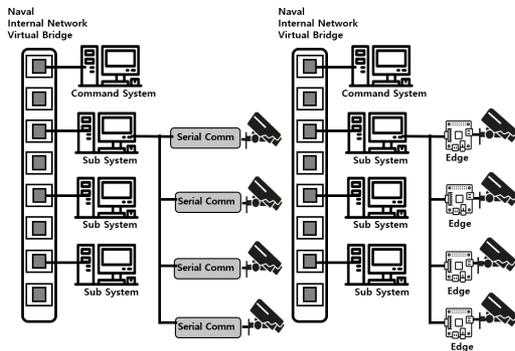


그림 6. 성능분석을 위한 합정 전투체계 시스템 모의환경과 제안하는 합정 전투체계 시스템 환경 구성도
 Fig. 6. System Environment for Performance Analysis of Previous Naval Combat System and Proposed Edge base System

표 1. 합정 전투체계를 구성하는 엣지 노드 사양
 Table 1. Edge Node Specification for Naval Ship Combat System

Item	Specification
Operating System	Devian10 (Buster) - Raspberian
Core CPU	1.2Ghz Quad Core ARM 64Bit
Memory	1GB
Image Processing Library	OpenCV-3.3.0v

정 전투체계 모의환경과 동일하다. 각 엣지 디바이스의 사양은 표 1과 같다.

4.3 엣지 컴퓨팅 기반 프레임워크의 성능분석

4.3.1 데이터 크기에 따른 성능 비교 분석

그림 7은 데이터 크기에 따른 합정 전투체계 모의 환경과 제안하는 엣지 프레임워크의 성능 비교를 보여준다. 데이터는 10KB ~ 1000KB 크기의 영상 데이터를 사용하였다. 그 결과, 합정 전투체계 모의 환경의 총 지연시간은 데이터 크기가 증가함에 따라 비례적으로 증가하였다. 이는 전송 및 하부체계 서버 데이터 컴퓨팅에서 발생하는 지연시간 때문이다. 반면에 제안하는 프레임워크 환경에서는 데이터가 증가함에 따라 지연시간이 소폭 상승하지만 1000KB 기준, 합정 전투체계 모의환경과 120배의 성능이 개선됨을 보였다. 데이터 크기가 증가함에 따라 지연시간이 증가한 것은 카메라와 엣지 디바이스 간 영상 데이터와 같이 대용량 데이터 처리로 인한 지연이 발생하였다.

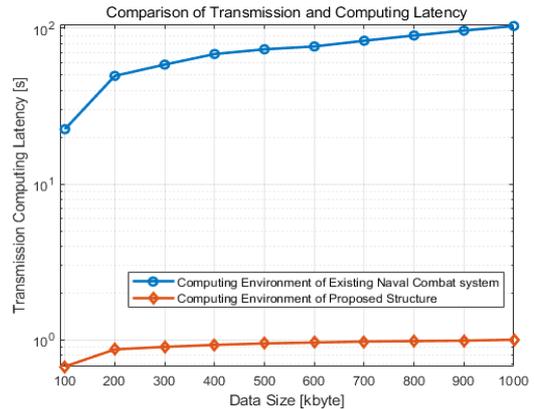


그림 7. 전송 데이터 크기별 데이터 컴퓨팅 지연시간 비교
 Fig. 7. Comparison of Naval Combat System and Proposed Scheme in Terms of Data Size

4.3.2 노드 수에 따른 성능 비교 분석

그림 8은 노드 수가 증가함에 따라서 합정 전투체계 모의환경과 엣지 프레임워크의 성능 차이를 보여준다. 이때 노드 수에 따른 지연시간 비교를 통해 나타내었다. 노드의 수는 최대 4개이다. 성능분석을 위하여 100KB의 영상 데이터를 사용하였다. 합정 전투체계 합정 전투체계 모의 환경의 경우, 노드의 수가 증가함에 따라 비례적으로 총 지연시간이 증가함을 보였으며 대용량 데이터 컴퓨팅에 실시간성을 만족하지 못하였다. 반면, 엣지 컴퓨팅 기반 프레임워크 환

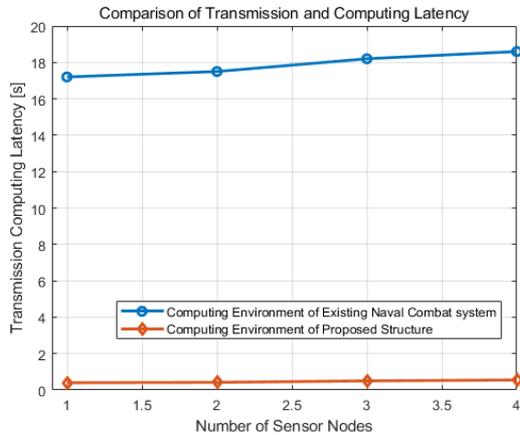


그림 8. 노드 수 별 컴퓨팅 지연시간 비교
 Fig. 8. Comparison of computing latency by number of nodes

경에서는 노드 수가 증가함에 따라 총 지연시간이 평균을 유지하는 성능을 보였다. 이는 대용량 데이터 컴퓨팅을 요구하는 차세대 함정 전투체계에 대해 제안하는 프레임워크의 높은 성능을 보여준다.

V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 처리하는 데이터의 양과 복잡도가 증가하는 차세대 함정 전투체계의 임무 특성을 고려하여 현재 함정 전투체계 환경을 모의하고, 노드 수와 데이터 크기에 따른 지연시간을 분석하였다. 그 결과 노드 수 및 데이터 크기의 증가에 따라 체계의 지연시간에 영향을 준다는 결과를 도출하였고, 제안하는 엣지 컴퓨팅 기반 프레임워크로 구성된 환경을 가정하여 동일 조건으로 시험한 결과, 함정 전투체계 모의환경과 비교하였을 때 개선된 성능을 보여 향후 차세대 함정 전투체계의 대용량 데이터 컴퓨팅 환경에 적합성을 보였다.

향후 연구로는 제한된 에너지 및 자원 요구사항을 고려한 동적 오프로드 방안에 대해 연구할 예정이다. 또한 엣지 결합을 고려한 AI 기반의 Task Offloading 기법을 연구할 예정이다.

References

[1] J. G. Lee, "A study on the standard architecture of weapon control software on naval combat system," *J. Korea Soc. Comput. and Inf.*, vol. 26, pp. 101-110, Nov. 2021.

(<https://doi.org/10.9708/jksci.2021.26.11.101>)

[2] J. Y. Im, D. S. Kim, K. S. Song, and Y. S. Choi, "Design and realization of distributed real-time message management scheme for naval combat system development tool," *J. Inst. Contr., Robotics and Syst.*, vol. 22, pp. 570-577, Jul. 2016. (<https://doi.org/10.5302/J.ICROS.2016.16.0012>)

[3] K. Y. Hwang, K. C. Ok, Y. J. Kim, B. W. Choi, H. S. Oh, and K. S. Choi, "A study on development direction of next-generation naval combat system architecture," *J. KIMST*, vol. 19, pp. 105-118, 2016. (<https://doi.org/10.9766/KIMST.2016.19.1.105>)

[4] H. J. Kim and S. Y. Oh, "A cloud computing architecture for integrating navy shipboard computing systems," in *Proc. Korean Inf. Sci. Soc. Conf.*, pp. 59-62, 2019.

[5] J. Cao, K. Hwang, K. Li, and A. Y. Zomaya, "Optimal multiserver configuration for profit maximization in cloud computing," *IEEE Trans. Parallel and Distrib. Syst.*, vol. 24, pp. 1087-1096, 2013. (<https://doi.org/10.1109/tpds.2012.203>)

[6] S. H. Jeong, H. G. Ji, S. U. Choe, and J. G. Im, "Development direction of naval ship system integration," *Bulletin of the Soc. Naval Architects of Korea*, pp. 15-20, Mar. 2020.

[7] J. W. LEE, H. J. Kim, J. M. Lee, T. S. Jeon, and D. S. Kim, "Blockchain-based data sharing scheme to enhance reliability and security for naval combat systems," *J. KICS*, vol. 47, pp. 809-817, Jun. 2022. (<https://doi.org/10.7840/kics.2022.47.6.809>)

[8] J. Y. Lim and D. S. Kim, "Performance evaluation of virtualization solution for next generation naval combat systems," *J. ICROS*, vol. 56, pp. 41-49, Feb. 2019.

[9] J. H. Eum and S. Y. Oh, "Cloud computing model to naval shipboard computing system for its high availability and optimization," *J. KIISE: Computing Practices and Lett.*, vol. 20, pp. 219-223, Apr. 2014.

[10] D. H. Nho and D. S. Kim, "Real-time faulty node detection scheme in naval distributed

- control networks using BCH codes,” *J. IEEK*, vol. 51, pp. 20-28, May 2014.
- [11] J. H. Kim, “The role of ai-based naval combat systems in the fourth industrial revolution,” *Defense & Technology*, pp. 144-153, 2019.
- [12] K. S. Song, D. S. Kim, and Y. S. Choi, “A design of message oriented management and analysis tool for naval combat systems,” *J. IEEK*, vol. 51, pp. 437-444, 2014. (<https://doi.org/10.5573/jieie.2014.51.2.197>)
- [13] T. Yang, H. Feng, S. Gao, Z. Jiang, M. Qin, N. Cheng, and L. Bai, “Two-stage offloading optimization for energy-latency tradeoff with mobile edge computing in maritime internet of things,” *IEEE Internet of Things J.*, vol. 7, pp. 5954-5963, Jul. 2020. (<https://doi.org/10.1109/jiot.2019.2958662>)
- [14] T. Yang, C. Han, M. Qin, and C. Huang, “Learning-aided intelligent cooperative collision avoidance mechanism in dynamic vessel networks,” *IEEE Trans. Cognitive Commun. and Netw.*, vol. 6, pp. 74-82, Mar. 2020. (<https://doi.org/10.1109/tccn.2019.2945790>)
- [15] T. Yang, H. Feng, C. Yang, Y. Wang, J. Dong, and M. Xia, “Multivessel computation offloading in maritime mobile edge computing network,” *IEEE Internet of Things J.*, vol. 6, pp. 4063-4073, Jun. 2019. (<https://doi.org/10.1109/jiot.2018.2876151>)
- [16] J. H. Cha, J. W. Lee, J. M. Lee, and D.-S. Kim, “Network load reduction scheme of secure DDS based edge computing platform in industrial IoT environment,” in *Proc. KICS Fall Conf. 2021*, pp. 181-182, Jeju Island, Korea, Nov. 2021.
- [17] J. H. Cha, J. M. Lee, and D.-S. Kim, “BLE-based lightweight message-oriented middleware in wireless sensor network,” in *Proc. KICS Winter Conf. 2021*, pp. 491-492, Pyeongchang, Korea, Feb. 2021.
- [18] J. H. Cha, J. M. Lee, and D.-S. Kim, “Data distribution service based on edge computing platform of industrial IoT,” in *Proc. KICS Summer Conf. 2020*, pp. 1164-1165, Pyeongchang, Korea, Aug. 2020.
- [19] K. S. Song, D.-S. Kim, and Y. S. Choi, “A design of message oriented management and analysis tool for naval combat systems,” *J. IEIE*, vol. 52, pp. 437-444, Feb. 2014.
- [20] *Data Distribution Service for Real-time Systems Version 1.2*, <https://www.omg.org/spec/DDS/1.2>
- [21] B. Maksumov, D. A. Nugroho, Y. Wei, and D. S. Kim, “A real-time data distribution scheme of MOMAT for the naval combat system,” *2013 ICTC*, pp. 268-273, Jeju, South Korea, Oct. 2013. (<https://doi.org/10.1109/ICTC.2013.6675355>)
- [22] M. Nir, A. Matrawy, Y. J. Kim, B. W. Choi, H. S. Oh, K. S. Choi, and M. S. Hilaire, “Economic and energy considerations for resource augmentation in mobile cloud computing,” *IEEE Trans. Cloud Computing*, vol. 6, pp. 99-113, Mar. 2018. (<https://doi.org/10.1109/TCC.2015.2469665>)
- [23] J. W. Lee, J. H. Cha, J. W. Lee, G. S. Kim, and D. S. Kim, “PFDP-Based DDS security lightweight discovery scheme,” *J. KICS*, vol. 45, pp. 2123-2131, Dec. 2020. (<https://doi.org/10.7840/kics.2020.45.12.2123>)
- [24] J. Ren, G. Yu, Y. He, and G. Ye Li, “Collaborative cloud and edge computing for latency minimization,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 68, pp. 5031-5044, 2019. (<https://doi.org/10.1109/TVT.2019.2904244>)
- [25] OMG, *Data Distribution Services specifications home page*, <http://www.omg.org/spec/DDS/1.2/>
- [26] OMG, *Data Distribution Services specifications home page*, <http://www.omg.org/spec/DDS/RTSP/2.2>

김 경 선 (Gyeong-seon Kim)



2018년 2월 : 금오공과대학교 전
자공학부 학사졸업
2020년 2월 : 금오공과대학교 IT
융복합공학과 석사졸업
2020년~현재 : 금오공과대학교
대학원 IT융복합공학과 박사
과정

<관심분야> 미들웨어, 네트워크 분산시스템, 엣지 컴퓨팅
[ORCID:0000-0002-9509-1296]

장 민 희 (Min-hui Jang)



2019년 8월 : 금오공과대학교 전
자 공학과 졸업
2021년 8월 : 금오공과대학교 IT
융복합공학과 석사졸업
2021년 9월~현재 : 금오공과대학
교 IT융복합공학과 박사과정
<관심분야> 산업용 IoT, 엣지 컴

퓨팅, 미들웨어, 항공기 네트워크, 합정전투체계
[ORCID:0000-0002-0349-5091]

류 주 연 (Ju-yeon Ryu)



2015년 2월 : 충북대학교 전보통
신공학 졸업
2015년 12월~현재 : 한화시스템
해양연구소 시스템 엔지니어
<관심분야> 합정전투체계, 아키
텍처 설계, 네트워크, 엣지컴
퓨팅

[ORCID:0000-0003-3584-0180]

정 병 인 (Byung-in Jung)



2014년 2월 : 금오공과대학교 전
자공학부 졸업
2014년 1월~현재 : 한화시스템
해양연구소 시스템 엔지니어
<관심분야> 합정전투체계, 아키
텍처 설계, 인공지능, 영상처리

[ORCID:0000-0001-9901-2092]

이 재 민 (Jae-min Lee)



1997년 2월 : 경북대학교 전자공
학과 학사졸업
1999년 2월 : 경북대학교 전자공
학과 석사졸업
2005년 3월 : 서울대학교 전기
및 컴퓨터공학부 박사졸업
2004년~2016년 : 삼성전자 수석
연구원

2016년~2017년 : 금오공과대학교 ICT융합특성화 연구
센터 산학협력중점교수

2017년~현재 : 금오공과대학교 전자공학부 부교수
<관심분야> 산업용 통신망, 네트워크 기반 임베디드 시
스템 설계 및 성능분석

[ORCID:0000-0001-6885-5185]

김 동 성 (Dong-seong Kim)



1992년 2월 : 한양대학교 전자공
학과 졸업
2003년 3월 : 서울대학교 전기
및 컴퓨터공학부 박사졸업
2004년 : Cornell 대학교 ECE 박
사 후 연구원
2004년~현재 : 금오공대 전자공
학부 정교수

2015년~2018년 : 금오공과대학교 융합기술원 원장
2014년~현재 : ICT 융합특성화연구센터 센터장(과기
정통부 ITRC 및 연구재단 중점연구소)

2014년~현재 : IEEE/ACM Senior 회원

2016년~현재 : 국방부 CIO 자문위원

2019년~2022년 : 금오공과대학교 산학협력단장

<관심분야> 실시간 S/W, 실시간 통신망 및 IoT 시스템,
네트워크 기반 분산 제어 시스템

[ORCID:0000-0002-2977-5964]