

# 함정 전투체계의 DDS 기반 네트워크 성능분석 기법 설계 및 구현

장민희<sup>1</sup>, 김형진<sup>2</sup>, 이재호<sup>3</sup>, 유재학<sup>4</sup>, 이재민<sup>5</sup>, 김동성\*

금오공과대학교 IT융복합공학과<sup>1,5,\*</sup>, 주식회사 엔에스랩 기술연구소<sup>2</sup>, 한화시스템<sup>3,4</sup>

{jmhee<sup>1</sup>, ljmpaul<sup>5</sup>, dskim\*}@kumoh.ac.kr, haengg@nslab.tech<sup>2</sup>, {jh8028.lee<sup>3</sup>, jahak90<sup>4</sup>}@hanwha.com

## Design and Implementation of Performance Evaluation Scheme for DDS based Naval Ship Combat Network

Min-Hui Jang<sup>1</sup>, Hyeong-Jin Kim<sup>2</sup>, Jae-Ho Lee<sup>3</sup>, Jae-hak Yu<sup>4</sup>, Jae-Min Lee<sup>5</sup>, Dong-Seong Kim\*

Kumoh National Institute of Technology, Dept. of IT Convergence Eng.<sup>1,5,\*</sup>,

NSLab Co., Ltd. Technology Research Institute<sup>2</sup>, Hanwha System<sup>3,4</sup>

### 요약

현재 운용되는 함정 전투체계는 각종 센서, 장비를 통하여 표적을 탐지하고 무장 통제와 교전을 수행한다. 이러한 함정 전투체계는 기술발전으로 인한 요구사항 증대에 따라 다수의 노드 및 장비 탑재로 인해 복잡성이 증가하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 함정의 체계구조와 네트워크 구조 변화에 대한 필요성이 증가하고 있다. 따라서 본 논문에서는 함정 전투체계 네트워크 구조에 대한 평가와 분석을 위한 프레임워크를 설계하고 구현하였다. 이때 함정 전투체계 네트워크 특성인 DDS(Data Distribution Service) 미들웨어를 분석하고 이에 대한 성능분석이 가능한 환경을 확보하도록 하였다.

### I. 서론

함정 전투체계는 다양한 센서, 무기, 방어 시스템 등을 융합하여 무장 통제와 교전을 효과적으로 대응하고 수행하도록 설계된 전투 시스템이다. 이러한 함정 전투체계는 C4I (Command, Control, Communications, and Intelligence) 체계, 통신체계, 센서체계, 무기체계 등 다양한 하부체계들이 통합되어 운용되고 있다[1]. 함정 전투체계는 기술발전으로 다양한 측면에서 성능과 효율성을 향상시키기 위해 여러 시스템 및 체계 간의 협력과 상호 운용성을 강조하고 있다. 이는 함정 전투체계의 새로운 네트워크 구조 도입에 대한 필요성을 제기하고 있다. 또한 새로운 네트워크 구조 도입에 따른 구조에 대한 평가와 분석 도구의 필요성이 두드러지고 있다[2]. 함정 전투체계는 분산 체계 환경에서 최적의 데이터 분배 기능과 함께 신뢰성과 안정성이 확보되어야 한다. 따라서 DDS(Data Distribution Service) 미들웨어를 활용한 네트워크 통신이 구현되어있다[3].

본 논문에서는 함정 전투체계 네트워크의 새로운 구조 연구를 위한 기법을 설계하고 구현하였다. 이는 함정 전투체계의 DDS 기반 네트워크의 특성을 고려하여 성능분석이 가능한 환경을 확보하였다.

### II. 함정 전투체계의 DDS 기반 네트워크 분석 및 구현방안 모색

본 논문의 함정 전투체계의 DDS 기반 네트워크 성능분석 기법은 NS-3를 기반으로 구축하고자 한다. NS-3는 네트워크 성능분석을 위한 오픈 소스 시뮬레이션 도구이다. 이는 다양한 통신 프로토콜, 라우팅 알고리즘, 트래픽 모델 등을 제공하여 다양한 시나리오에서 네트워크의 동작을 구현하고 성능을 분석할 수 있다. 이는 새로운 프로토콜이나 기술을 평가하거나 네트워크 디자인을 최적화하는 연구에 용이하다. 그러나 NS-3에는 DDS를 지원하는 라이브러리가 존재하지 않는다. 따라서 DDS의 주요 동작과 특성과 같은 핵심 기능을 모사하는 모델을 구축하는 방안이 필요하다. DDS는 OMG에서 표준화한 Unbrokered P2P(Peer-to-Peer) 기반의 발간/구독을 지원하는 MOM(Message Oriented Middleware)이며,

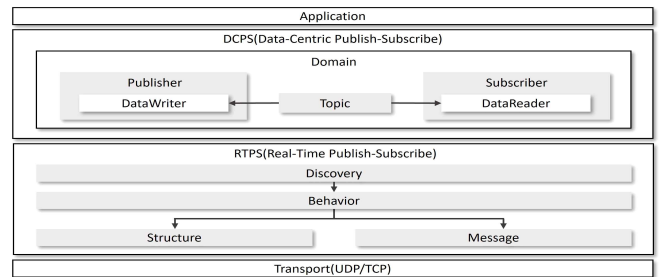


그림 1 DDS(Data Distribution Service) 계층 구조도

Topic을 통해 비동기적이고 실시간 데이터 교환을 위한 분산 컴퓨팅 프레임워크이다. 이러한 DDS는 그림 1과 같이 Transport, RTPS(Real Time Publish Subscribe), DCPS(Data Centric Publish Subscribe), Application 계층 구조로 구성되어있다[4].

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
64	0.087953	192.168.137.78	239.255.0.1	RTPS	318	INFO_DST, DATA(p)
65	0.082169	192.168.137.244	239.255.0.1	RTPS	218	INFO_DST, DATA(p)
66	0.080307	192.168.137.78	239.255.0.1	RTPS	142	INFO_DST, HEARTBEAT, HEARTBEAT
67	0.080800	192.168.137.78	239.255.0.1	RTPS	174	INFO_DST, HEARTBEAT, HEARTBEAT, HEARTBEAT
68	0.082853	192.168.137.244	239.255.0.1	RTPS	142	INFO_DST, HEARTBEAT, HEARTBEAT
69	0.080380	192.168.137.244	239.255.0.1	RTPS	174	INFO_DST, HEARTBEAT, HEARTBEAT, HEARTBEAT
70	0.078387	192.168.137.78	239.255.0.1	RTPS	162	INFO_DST, ACKNACK, ACKNACK, ACKNACK
71	0.082659	192.168.137.244	239.255.0.1	RTPS	94	HEARTBEAT
72	0.080698	192.168.137.244	239.255.0.1	RTPS	94	HEARTBEAT
73	0.074881	192.168.137.78	239.255.0.1	RTPS	110	INFO_DST, ACKNACK
74	0.081880	192.168.137.244	239.255.0.1	RTPS	274	INFO_TS, INFO_DST, DATA(w)
75	0.084818	192.168.137.78	239.255.0.1	RTPS	174	INFO_DST, HEARTBEAT, HEARTBEAT, HEARTBEAT
76	0.083227	192.168.137.244	239.255.0.1	RTPS	162	INFO_DST, ACKNACK, ACKNACK, ACKNACK
77	0.081860	192.168.137.78	239.255.0.1	RTPS	94	HEARTBEAT
78	0.080800	192.168.137.78	239.255.0.1	RTPS	94	HEARTBEAT
79	0.080500	192.168.137.244	239.255.0.1	RTPS	94	HEARTBEAT
80	0.085783	192.168.137.244	239.255.0.1	RTPS	110	INFO_DST, ACKNACK
81	0.0818254	192.168.137.78	239.255.0.1	RTPS	274	INFO_TS, INFO_DST, DATA(w)
82	0.082172	192.168.137.244	239.255.0.2	IGMPv3	94	Membership Report 2, Join group 239.255.0.2 for any sources
83	0.080818	192.168.137.244	239.255.0.2	RTPS	110	INFO_DST, HEARTBEAT
84	0.073592	192.168.137.78	239.255.0.2	RTPS	110	INFO_DST, ACKNACK
85	0.081172	192.168.137.244	239.255.0.2	RTPS	118	INFO_TS, DATA(L_)
86	0.080481	192.168.137.244	239.255.0.2	RTPS	166	INFO_TS, DATA
87	0.080806	192.168.137.244	239.255.0.2	RTPS	118	INFO_TS, DATA(L_)
88	0.080373	192.168.137.244	239.255.0.2	RTPS	166	INFO_TS, DATA

그림 2 Wireshark를 통한 DDS 패킷 분석

그림 2는 패킷 분석 도구인 Wireshark을 사용하여 DDS를 통한 데이터 통신 내역을 캡처한 결과이다. 이때 RTPS 프로토콜을 통해 교환되는 패킷들이 시간순으로 나열되어있다. RTPS는 DDS의 발행/구독 기반 데이터 전송을 구현하기 위한 핵심 프로토콜로, 멀티캐스팅 및 UDP/IP와 같은 best-effort 전송계층 프로토콜 위에서도 사용 가능하다. 이러한 RTPS는 안전한 데이터 전송을 위해 참여자 및 Endpoint의 등록, 검색, 통신을 관리하여 DCPS 상호작용을 지원한다. 또한 DDS에서 실시간 데이터 통신을 위한 Discovery, 메시지 포맷, 전송 절차 등을 다루어 실시간

분산 시스템에서의 데이터 흐름과 요구사항을 처리한다. 따라서 RTPS의 주요 통신 단계는 Participant Discovery, Endpoint Discovery, Data Exchange, Heartbeat Exchange로 나타내어진다. Participant Discovery는 PDP(Participant Discovery Protocol)를 통해 참가자들이 네트워크상에서 서로를 인식하고 등록한다. Endpoint Discovery는 EDP(Endpoint Discovery Protocol)를 통해 Topic, Publisher, Subscriber등의 Endpoint 간 등록 및 변경을 관리한다. Data Exchange는 Publisher가 생성한 데이터를 해당 Topic을 가진 Subscriber에게 효율적으로 전송한다. 이때 P2P 통신으로 Unicast 또는 Multicast를 통해 데이터를 주고받는다. Heartbeat Exchange는 Heartbeat 메시지를 통해 peer간의 연결 상태를 주기적으로 확인하고 유지한다.

따라서 본 논문에서는 이러한 4가지 단계와 합정 전투체계 네트워크 환경 요구사항을 고려하여 DDS 모델을 구현하고자 한다. 합정 전투체계 네트워크를 구성하는 노드들의 링크의 크기는 Gbyte의 단위이며 데이터량은 35MB 정도의 대용량 데이터를 취급한다. 따라서 Wireshark에서 확인한 것과 마찬가지로 Discovery 구간에서 발생하는 데이터는 10~100B의 크기로 약 0.000093%의 작은 비율에 해당한다. 따라서 Discovery로 발생하는 데이터 부분은 생략하였다. 또한 노드의 삭제 및 추가와 같은 변경 내역은 포함하지 않았으므로 Heartbeat 교환은 프레임워크 첫 동작 이후 외에는 동작하지 않도록 하였다. 그리고 합정 전투체계에서 사용되는 DDS는 UDP기반 Multicast를 통해 데이터를 주고받기 때문에 UDP Multicast 통신방식의 특징을 고려하여 동일한 Topic 즉 특정 Multicast 그룹에 속한 수신자에게 데이터를 동시에 송신하는 구조를 설계하였다.

### III. 합정 전투체계의 DDS 기반 네트워크 성능분석 기법 구현

Algorithm 1 : Simulator for Performance Evaluation of DDS based Naval Combat Network

```

Input : SendDataSize, SendNode, EndpointNode output : Throughput, Goodput
let DataRate; PacketSize; LinkDataRate; LinkDelay;
NodeName; NodePosition_X; NodePosition_Y; NodeConnection; p2pNodeConnection;
ConnectNodePosition; MulticastGroupIP; MulticastGroupCount;
for(int i = 0; i < n; ++i){ string LinkDataRate; string LinkDelay; }
for(int i = 0; i < n; ++i){ string NodeName; int NodePosition_X; int NodePosition_Y; }
for(let NodePosition_X; NodePosition_X < CountNodePosition_X; NodePosition_X++){
for(let NodePosition_Y = 0; NodePosition_Y < CountNodePosition_Y-1; NodePosition_Y++){
let Connect_NodePosition_Y = NodePosition_Y + 1;
NodeConnection(NodePosition_X, NodePosition_Y, NodePosition_X, Connect_NodePosition_Y);
p2pNodeConnection = p2p.Install(NodeConnection);
ipv4.SetBase;
ipv4.Assign(p2pNodeConnection);
}
}
if(NodeDefinition = finished){
HeartbeatExchange();
}
setMulticastGroupIP(SendNode, EndpointNode, MulticastGroupCount){
for(let i = 0; i < MulticastGroupCount; ++i){
let MulticastGroupIP = generateMulticastGroupIP(i);
}
}
generateMulticastGroupIP(Number){ return "225.1."+ (Number+1) + ".1"; }
setMulticastGroupIP(SendNode, EndpointNode);
let x = SendNode.NodePosition_X;
let y = SendNode.NodePosition_Y;
while(y < Max_Y){
let Connect_NodePosition_Y = NodePosition_Y+1;
DataSendRoute.push({x: NodePosition_X, y: Connect_NodePosition_Y});
y = Connect_NodePosition_Y;
}
while(Connect_NodePosition_Y < Max_Y){
DataSendRoute.push({x: x, y: Connect_NodePosition_Y});
Connect_NodePosition_Y++;
}
}
executeScenario(DataSendRoute, DataRate, PacketSize, StartTime, EndTime);

```

Algorithm 1은 DDS 기반 통신 기능이 포함된 합정 전투체계 네트워크 구조를 모델링하고 특정 시나리오를 실행하는 과정을 보여준다. 본 논문에서 제안하는 합정 전투체계 네트워크 환경은 다수의 노드들이 배치되어야 한다. 따라서 해당 알고리즘은 노드 수에 대한 고정된 제한이 없는 NS-3를 통해 제공하는 기능을 기반으로 설계하고 구현하였다. 이러한 과정은 크게 네트워크 모델링, DDS 통신, 결과 출력 단계로 구성된다. 네트워크 모델링 단계에서는 구축하고자 하는 네트워크를 구성하는 노드간 링크의 크기를 정의한다. 또한 네트워크를 구성하는 노드들의 이름과 위치를 정의한다. 이후 가장 아래 위치한 단말 노드부터 부모 노드와 연결하고 P2P 연결을 진행하고 IP를 부여한다. DDS 통신 단계에서는 2절에서 설명한 것과 마찬가지로 DDS를 모사방안을 고려하여 구축하였다. 노드 정의

가 완료되면 각 노드들은 HeartbeatExchange()를 통해 heartbeat 메시지를 교환한다. 이후 합정 전투체계의 전투 트래픽 및 데이터 유형을 고려한 DDS 시나리오를 실행하기 위해 준비단계를 거친다. 각 시나리오는 동일한 Topic을 공유하는 노드들이 데이터를 전송받는 구조를 의미한다. 따라서 각 시나리오를 수행하는 노드들은 특정 Multicast 그룹에 해당하는 노드들이며 이들을 setMulticastGroupIP()로 그룹화하고 그룹 IP를 부여하였다. 그리고 시나리오를 기반으로 데이터 이동 경로를 파악하고 이에 대한 노드를 정의하였다. 이후 각 시나리오에서 요구하는 DataRate, PacketSize를 기반으로 시나리오를 실행하도록 구현하였다.

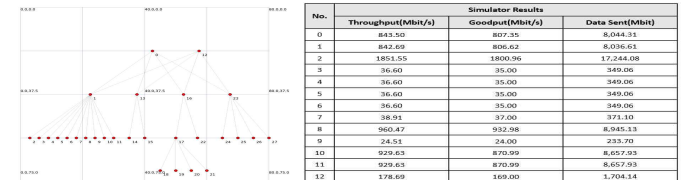


그림 3 합정 전투체계의 DDS 기반 네트워크 성능분석 기법 구현 결과

그림 3은 NS-3를 통해 제안하는 합정 전투체계의 DDS 기반 네트워크 성능분석을 위한 시뮬레이션 구현 후 발생하는 결과를 보여준다. 네트워크 모델링 단계에서 정의한 노드 및 네트워크 구성을 시각적으로 나타내었고, 시뮬레이터를 통해 생성된 결과를 보여준다. 확인할 수 있는 결과는 Throughput, Goodput, 송신데이터량이다.

### V. 결론

본 논문에서는 합정 전투체계의 DDS 기반 네트워크 성능을 분석하기 위한 기법을 설계하고 구현하였다. 합정 전투체계 네트워크는 다양한 노드와 체계들간의 통신에서 신뢰성과 안정성을 확보하기 위하여 DDS를 기반으로 한 통신환경을 채택하고 있다. 따라서 DDS 기반 환경을 모델링하고 합정 네트워크의 특징과 요구사항을 고려하여 프레임워크를 설계하고 구현하였다. 향후 연구로는 DDS 표준을 기반으로 한 상용 제품들과의 결과를 비교하여 본 논문에서 구현한 기법의 신뢰성을 정량적으로 평가하고자 한다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2023년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업이며(2018R1A6A1A03024003, 50%), 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 지역지능화혁신인재양성사업임 (IITP-2024-2020-0-01612, 50%)

### 참고 문헌

- [1] G.S. Kim, M.H. Jang, J.Y. Ryu, B.I. Jung, J.M. Lee and D.-S. Kim, "Edge Computing Based Framework for Next Generation Naval Ship Combat Systems", Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, vol. 47, pp. 2078-2085, Dec. 2022
- [2] S.W. Oh, "An Integrated Architecture for Control and Monitoring Systems on Naval Surface Combatants", Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, vol. 21, pp. 103-114, Feb. 2018
- [3] J.W. Lee, H.J. Kim, J.M. Lee, T.S. Jun and D.-S. Kim, "Blockchain-Based Data Sharing Scheme to Enhance Reliability and Security for Naval Combat Systems", Journal of KICS, vol. 47, pp. 809-817, Aug. 2022
- [4] J.H. Cha, H.J. Kim, J.M. Lee and D.-S. Kim, "Trends in Message-Oriented Middleware Research for Smart Defense Distributed Systems", Communications of KIISE, vol. 41, pp. 32-39, Mar. 2023