

A Study on Efficient Design of Hull-Mounted Sonar Interface Control Unit in Naval Combat Management System

Ki-Woon Yeun*, Su-Seok Park*, Young-San Kim*

*Engineer, Naval R&D Center, Hanwha Systems, Pangyo, Korea

[Abstract]

We address rising maintenance and development costs in a naval CMS that, despite NSCP-based interface standardization, retained legacy message handling that inflated code and required frequent changes. We propose NSCP-OpenDDS, applying DDS (OpenDDS) and adhering to SOLID principles. Implemented in the HMS interface module, it was evaluated under identical message-processing scenarios. Compared with the NSCP legacy implementation, cyclomatic complexity (CC) decreased by 50% and lines of code (LOC) by 59%. These results indicate improved maintainability and scalability, with expected reductions in development cost and a smaller impact scope when messages or equipment change.

▶ **Key words:** Naval Combat Management System, Naval Shield Component Platform, Data Distribution Service, Software Standardization, Software Reuse

[요 약]

함정 전투관리체계는 다양한 장비 연동의 효율화를 위해 NSCP(Naval Shield Component Platform)를 도입하여 연동단 소프트웨어 표준화를 달성했으나, 레거시 메시지 처리 방식으로 소스 코드가 비대해지고 장비·메시지 변경 시 잦은 수정이 필요해 개발 비용이 증가했다. 본 논문은 코드 재사용성과 개발 효율을 제고하기 위해 DDS(Data Distribution Service)를 적용한 NSCP-OpenDDS 아키텍처를 제안한다. 제안하는 아키텍처는 기존 NSCP의 설계 철학인 SOLID 원칙을 준수하여 설계하고, HMS 연동단에 적용하여 정량적으로 평가하였다. 동일한 메시지 처리 기준으로 사이클로메틱 복잡도(CC)와 코드 라인 수(LOC) 지표로 평가한 결과, NSCP 레거시 구현 대비 CC는 50%, LOC는 59% 감소했다. 이에 따라 유지보수성과 확장성이 향상되며, 개발 비용 절감과 메시지 변경에 따른 영향 범위가 축소될 것으로 기대된다.

▶ **주제어:** 함정 전투관리체계, 함정전투체계 표준 연동 아키텍처, 데이터 분산 서비스, 소프트웨어 표준화, 소프트웨어 재사용

- First Author: Ki-Woon Yeun, Corresponding Author: Ki-Woon Yeun
- *Ki-Woon Yeun (mryeun@hanwha.com), Naval R&D Center, Hanwha Systems
- *Su-Seok Park (suseok.park@hanwha.com), Naval R&D Center, Hanwha Systems
- *Young-San Kim (y.san.kim@hanwha.com), Naval R&D Center, Hanwha Systems
- Received: 2025. 07. 15, Revised: 2025. 08. 03, Accepted: 2025. 08. 22.

I. Introduction

함정 전투체계는 고도로 복잡한 시스템으로, 다양한 센서, 무장과 기타 장비들과의 원활한 연동이 필수적이다. Naval Shield Component Platform(NSCP)는 이러한 연동을 표준화하고 체계적인 통합을 실현하기 위해 개발되었으며, 이를 통해 높은 유지보수성과 높은 재사용성을 확보하였다. 현재 NSCP는 TCP, Serial, UDP와 같은 통신 방식을 주로 활용하며, 일반적으로 관급 장비(Government Furnished Equipment, 이하 GFE)와의 연동을 중심으로 운영되어 왔다.[1] 그러나 국제 방산 시스템에서 개방형 시스템 아키텍처 적용이 확대됨에 따라, 무기체계 성능개량과 신규 무기체계 설계 시 데이터 교환 미들웨어로 DDS(Data Distribution Service)를 활용하는 사례가 증가하고 있다.[2] 특히 나토에서 만든 차량용 공통 아키텍처 표준인 NATO Generic Vehicle Architecture(NGVA)에서는 차량 내 장치들이 데이터를 교환할 때 실시간성·상호운용성을 확보하기 위해 DDS가 사실상 표준으로 널리 사용된다.[16-18] DDS는 OMG(Object Management Group)에서 표준화한 발행-구독(Pub/Sub) 미들웨어로, 기존 방식에서는 연동 장비와 데이터를 송수신하기 위해 사용자가 직접 메시지와 패킷 구조를 설계해야 하며, 데이터 변환 및 오류처리까지 고려하기도 한다. 반면 DDS는 IDL(Interface Definition Language)기반으로 자동 직렬화(Serialization) 및 역직렬화(Deserialization)를 지원하여 개발 부담을 줄이고, 네트워크 성능을 최적화 할 수 있다.[3-5] 기존 연동단에 사용되는 NSCP의 GFEInterface는 TCP, Serial, UDP 등 통신 방식을 기반으로 관급장비 연동을 위해 설계되었으며, 레거시 방식 메시지 처리로 인해 소스 코드 양이 많고 장비 및 메시지 변경 시 수정이 발생하여 개발 비용 증가의 원인이 되었다.[6] 본 연구의 목표는 NSCP가 지원하는 기존 통신 구조를 유지한 상태에서 DDS 모듈을 추가할 수 있도록 설계하고, DDS 메시지가 NSCP의 메시지 변환기능 관리 컴포넌트와 원활히 통합되며 구조적 복잡도를 낮춰 유지보수성을 향상시키는 NSCP-OpenDDS 구조를 제안하며, 이를 HMS 연동단에 적용해 CC와 LOC 지표로 정량평가함으로써 개발 비용 절감 가능성을 확인하는 것이다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구로 함정전투체계와 NSCP, DDS, OpenDDS, 솔리드 원칙에 대해 설명한다. 3장에서는 NSCP-OpenDDS 아키텍처를 제안한다. 4장에서는 정량평가를 통해 코드 수정량 감소를 평가하고, 마지막 5장에서는 결론으로 마무리 한다.

II. Preliminaries

1. Naval Combat Management System

함정 전투체계(Naval Combat Management System, CMS)는 Fig. 1. 과 같이 함정이 보유한 레이더, 소나 등 다양한 센서와 함포, 유도탄과 같은 무장 시스템을 통합하여 작전을 수행할 수 있도록 지원하는 자동화된 무기체계이다. CMS는 센서 데이터를 종합하여 전술 상황을 평가하고, 위협을 분석하며, 무기 할당 및 교전을 수행하는 핵심적인 역할을 한다.

현재 CMS는 지휘무장통제체계(Combat Fire Command System, CFCS), 센서, 무장 및 데이터링크로 구성되며, 함정의 임무와 특성에 따라 다양한 구성이 가능하다. CFCS는 함정 전투체계의 핵심 구성 요소로, 센서 및 무장 시스템을 유기적으로 통합하여 전투 효율성을 극대화하는 역할을 수행한다.

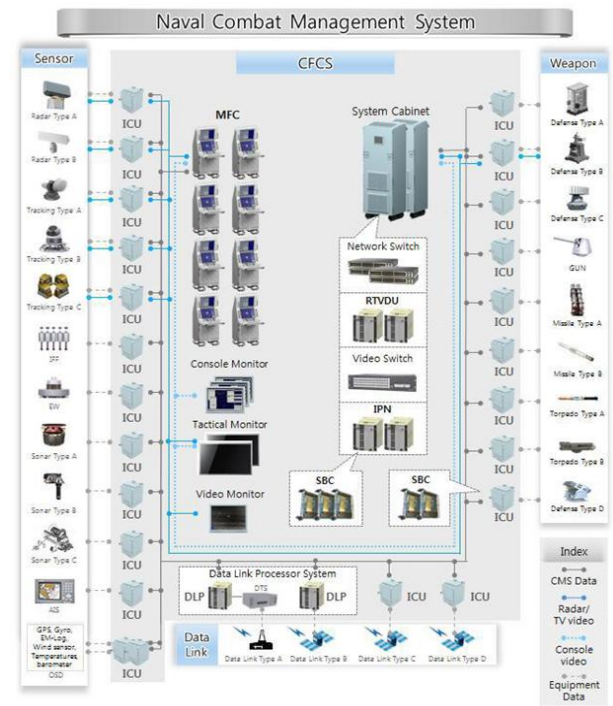


Fig. 1. Naval Combat Management System

CFCS는 다음과 같은 주요 장비로 구성된다. 정보처리 장치(Information Processing Node, IPN), 센서 및 무장에서 수집된 데이터를 처리하는 고성능 컴퓨팅 장비 다기능콘솔(Multi Function Console, MFC) 운용자가 명령을 입력하고 전술 상황을 전시하는 장비, 연동단(Interface Control Unit, ICU) 센서 및 무장을 연동하여 데이터 교환을 수행하는 장치, 전투체계 통합 네트워크

CMS 내 모든 장비 간 데이터 전송을 담당. 영상분배장치 (Radar TV Video Distributor Unit, RTVDU) 레이더 및 TV/IR 비디오 데이터를 분배·전송하는 장치로 구성된다. 이들 중에서도 함정 전투체계의 핵심장비는 정보처리장치로 각종 무장 및 센서, 데이터링크 장비로부터 들어오는 정보를 처리하는 역할을 수행한다.[7]

2. NSCP

본 연구에서는 함정전투체계 소프트웨어의 유지보수성과 재사용성을 향상시키기 위한 기반 아키텍처로 NSCP(Naval Shield Component Platform)를 활용 하였다. NSCP는 SOLID 설계 원칙에 기반한 연동 소프트웨어 플랫폼으로, 함정 내 다양한 기능 간의 연결을 구조적으로 분리하고, 외부 체계와의 통신 또한 표준화된 방식으로 처리할 수 있도록 설계되었다.

Fig. 2. 와 같이 NSCP는 Interface Manager, Message Converter, Function Manager, Subfunction Manager 의 네 가지 핵심 컴포넌트로 구성되며, 각 컴포넌트는 명확한 책임 분리를 기반으로 연동 흐름을 처리한다. IInterface Manager는 NSCP에서 외부 통신 어댑터 역할을 수행하는 컴포넌트로, 통신 미들웨어의 Application Programming Interface(API)를 호출하여 모듈 외부와의 송신 및 수신 기능을 담당한다. Message Converter는 외부 데이터와 NSCP 내부 메시지 간의 상호 변환을 수행하며, 변환된 데이터는 Function Manager를 통해 Subfunction Manager로 전달되어 기능별 세부 처리가 수행된다.

기존 함정전투체계 소프트웨어의 구조적 한계를 개선하기 위한 수단으로 NSCP를 적용한 결과, 공통 클래스로 처리되는 코드의 비중이 약 8%에서 66%로 증가하였고, 단일 메시지 변경 시 전체 소스 코드 구조에 영향을 미치는 비율은 38%에서 13%로 감소하는 성능 개선이 확인된 바 있다. 이러한 구조적 변화는 기능 간 결합도를 낮추고, 신규 기능의 추가 및 유지보수 시 영향을 최소화할 수 있는 기반을 제공한다.[1]

3. DDS

Data Distribution Service (DDS)는 Object Management Group(OMG)에서 제정한 실시간 분산 시스템을 위한 퍼블리시-서브스크라이브(Publish-Subscribe) 기반의 통신 미들웨어 표준이다. DDS는 노드 간 직접적인 연결 없이 데이터를 공유할 수 있도록 하는 데이터 중심(data-centric) 통신 구조를 제공하며, 다양한 애플리케이션 간의 상호 운용성과 실시간성을 보장한다.

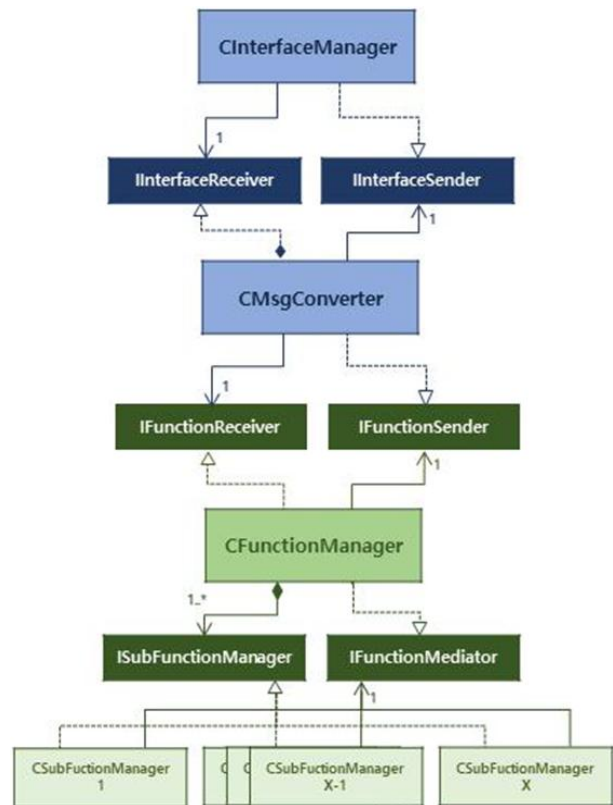


Fig. 2. Overview of Naval Shield Component Platform

DDS는 Topic, Publisher, Subscriber, Domain과 같은 개념을 통해 각 구성 요소 간의 통신을 정의한다. Publisher는 특정 Topic에 데이터를 발행하고, Subscriber는 해당 Topic을 구독함으로써 새로운 데이터가 생성될 때 이를 수신한다. DDS Domain은 논리적 통신 그룹으로 동일한 Domain 내의 Publisher와 Subscriber만이 통신할 수 있다. 이러한 구조는 시스템 간 결합도를 낮추어 모듈화와 확장성을 크게 높일 수 있다.

DDS는 단순한 메시지 큐 기반 통신과는 달리, QoS(Quality of Service) 정책을 상세히 설정할 수 있는 기능을 제공한다. 예를 들어, 신뢰성 있는 전송, 지연 시간 보장, 데이터 수명, 전송 우선순위 등 다양한 QoS 파라미터를 구성할 수 있어, 실시간성과 안정성이 동시에 요구되는 군사·항공·자동차 분야에서 특히 유리하다.[8]

NATO Generic Vehicle Architecture (NGVA)와 같은 군용 차량 아키텍처에서는 다양한 서브시스템 간 실시간 데이터 교환이 필수적이다. 이때 DDS는 구성 요소 간 통신을 공통의 인터페이스와 표준화된 프로토콜(DDSI-RTPS) 기반으로 처리함으로써, 서로 다른 벤더의 시스템 간 상호운용성(interoperability)을 실현한다.[9]

4. OpenDDS

OpenDDS는 Object Management Group(OMG)에서 제정한 DDS(Data Distribution Service) 표준을 구현한 오픈 소스 C++ 기반 미들웨어로, 고신뢰성·고성능의 발행-구독(Publish-Subscribe) 구조를 제공한다. Java 기반 시스템과의 연동도 JNI(Java Native Interface) 바인딩을 통해 지원되며, Object Computing, Inc.에서 개발 및 공개하였다. 또한 OpenDDS는 DDS 표준의 핵심 QoS(예: Reliability, Deadline, LatencyBudget, History, Durability, Liveliness)와 DDS Security의 주요 기능(인증·접근제어·암복호, secure discovery 포함)을 지원한다. 따라서 보안 아티팩트(XML)와 QoS/프로퍼티 기반 설정만으로 실시간 분산 환경의 지연·신뢰·보안 요구에 맞게 구성할 수 있어, 실사용성 역시 확보된다. [10-11].

III. The Proposed Scheme

본 장에서는 기존 NSCP의 설계 원칙과 기존 GFE 연동을 위한 구조를 유지하면서, OpenDDS 기반 통신 기능을 추가한 확장 구조를 제안한다. 본 구조는 기반 TCP, UDP, Serial기반 통신 방식과 병행하여 DDS의 발행/구독(Pub/Sub) 모델을 적용함으로써 신규 장비 연동 시의 개발 부담을 줄이고 유지보수성을 개선하는 데 목적이 있다.

1. Structure for integrating GFE with NSCP

Fig. 3.는 기존 NSCP의 GFE 연동을 위한 구조를 보여준다.

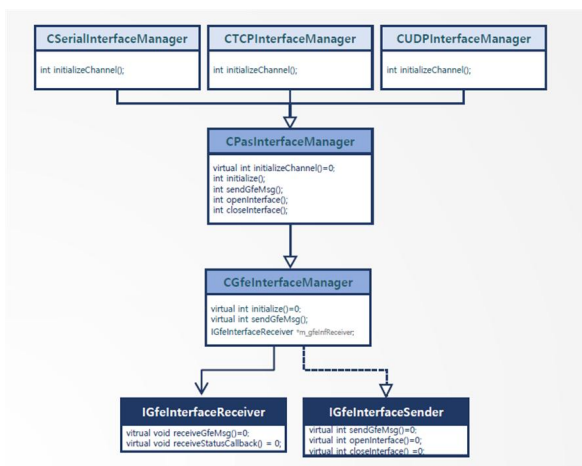


Fig. 3. NSCP GFE Interface Architecture

1.1 Key Functions

GFE와 연동을 위해 CSerialInterfaceManager, CTCPInterfaceManager, CUDPInterfaceManager를 통해 Serial, TCP, UDP 통신을 각각 처리할 수 있도록 설계되었다.

1.2 Features

GFE의 인터페이스의 종류에 따라 다양한 콘크리트 클래스가 존재 할 수 있으며 예를 들어 새로운 통신 방식이 추가되어도 CBluetoothInterfaceManager라는 클래스를 생성하여 쉽게 확장 가능하다.

1.3 Detailed Structure

다양한 통신 방식을 일관된 구조로 관리하고 송신 기능을 효율적으로 분리한 아키텍처를 보여준다. 이 구조는 객체지향 설계의 5대 원칙인 SOLID 원칙을 충실하게 반영하고 있다.[12-13]

처음으로 단일 책임 원칙(SRP)의 측면에서 볼 때 각 클래스는 명확한 역할을 가진다.CSerialInterfaceManager, CTCPInterfaceManager, CUDPInterfaceManager는 각각 Serial, TCP, UDP 통신이라는 고유한 책임만을 담당하며 이들을 통합하는 CPasInterfaceManager는 다양한 인터페이스를 하나의 관리 구조로 추상화하는데 집중하고 있다. 이처럼 각 클래스가 하나의 책임에만 집중하도록 설계되어 있어 유지보수가 용이하다.

다음으로 개방-폐쇄 원칙(OCF)은 확장성과 관련이 있다. 새로운 통신 방식이 필요할 경우 기존 클래스를 수정하지 않고, 기존 구조를 그대로 두고 새로운 콘크리트 클래스를 추가함으로써 기능을 확장할 수 있다. 예를 들어, Bluetooth나 WebSocket 통신을 추가하고자 한다면, 기존 코드를 변경하지 않고 새로운 InterfaceManager 클래스를 구현하기만 하면 된다.

리스크프 치환 원칙(LSP)도 잘 적용되어 있다. 각 통신 방식의 클래스는 동일한 상위 타입CPasInterfaceManager을 따르며, 상위 클래스를 사용하는 코드가 하위 클래스로 대체되어도 문제 없이 동작할 수 있도록 구성되어 있어, 다형성을 효과적으로 구현하고 있다.

또한, 인터페이스 분리 원칙(ISP) 측면에서도 IGfeInterfaceSender를 통해 전송 기능만을 분리하여 정의함으로써, CGfeInterfaceManager는 필요한 기능만을 가진 인터페이스에 의존하게 된다. 이로 인해 불필요한 기능까지 함께 구현해야 하는 부담을 줄이고, 시스템의 복잡도를 낮춘다.

2. Proposal for the NSCP Architecture with OpenDDS

Fig. 4.는 본 연구에서 제안하는 NSCP-OpenDDS 아키텍처이다.

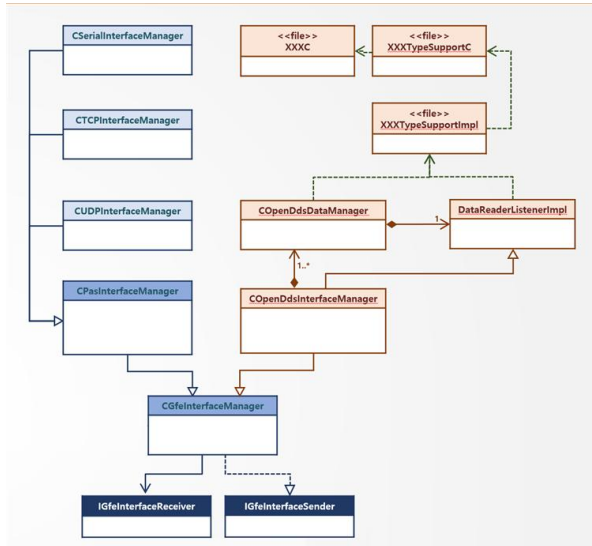


Fig. 4. NSCP-OpenDDS Integration Architecture

Fig. 4.의 아키텍처에서 COpenDdsInterfaceManager-COpenDdsDataManager의 1..* 합성은 하나의 인터페이스 관리자가 다수의 통신 채널을 동시에 운용할 수 있음을 보장한다. 각 COpenDdsDataManager는 채널 단위로 독립된 큐·상태·DDS 엔티티와 QoS를 보유하므로, 한 채널의 예외·재접속·성능 저하가 타 채널에 전파되지 않는다. 채널 추가·교체도 COpenDdsDataManager 인스턴스의 증감만으로 처리되어 이중화와 확장이 용이하게 설계하였다. 또한 COpenDdsInterfaceManager는 DataReaderListenerImpl를 상속하여 수신 콜백의 기본 정책을 인터페이스 관리 계층에서 직접 정의할 수 있도록 하였다. 아울러 COpenDdsDataManager는 DataReaderListenerImpl과 1-1 합성 관계를 가지며 경로별 Listener의 생성·등록·교체·소멸을 자체 관리한다. 이때 Listener는 콜백을 최소 처리 후 COpenDdsInterfaceManager로 위임하여 책임 분리를 유지하도록 설계 하였다. 마지막으로 COpenDdsDataManager와 DataReaderListenerImpl은 IDL에서 생성되는 파일(XXXC/XXXTypeSupportC/XXXTypeSupportImpl)에 소스 수준 의존을 가진다. 이는 토픽 스키마의 가변성을 코드 생성 산출물로 캡슐화하여 핵심 클래스의 변경 없이 토픽 증감을 가능하게 설계하였다.

2.1 Key Functions

GFE와 DDS로 연동을 위해 콘크리트 클래스로 COpenDdsInterfaceManager를 추가 하였다.

COpenDdsInterfaceManager는 토픽 송신 및 DataReaderListenerImpl통해 콜백 수신받아 처리한다. COpenDdsDataManager는 토픽 생성 및 송신 주체이다.

COpenDdsDataManager와 DataReaderListenerImpl는 OpenDDS와 관련된 라이브러리를 직접적으로 include 하고 있다.

2.2 Features

NSCP-OpenDDS 확장구조에서는 COpenDdsInterfaceManager와 COpenDdsDataManager간의 관계를 1:N의 합성 관계로 설계하였다. 이러한 구조는 연동 대상 장비가 통신 이중화(Redundant Communication)를 사용하는 환경을 고려한 것으로, 통신 경로별 독립된 데이터 처리단위를 분리하여 안정성과 신뢰성을 확보하기 위한 목적을 가진다.

연동 대상 장비가 데이터를 송신하면 DataReaderListenerImpl에서 데이터를 감지하게 되며 부모 클래스인 COpenDdsInterfaceManager에 콜백을 발생시켜 이에 따라 CDssInterfaceManager는 해당 이벤트에 대응하는 후속 처리를 진행한다. 이러한 구조는 이벤트 기반의 비동기 처리 메커니즘을 구현하기 위한 것이다. 데이터 수신과 처리 로직을 명확히 분리해, 시스템의 확장성과 유지보수성을 높인다.

송신 관점에서는 COpenDdsInterfaceManager가 송신 제어의 중심에 위치한다. 실제 송신 대상이 되는 데이터는 COpenDdsDataManager를 통해 관리되며, 송신 시점과 대상 결정은 COpenDdsInterfaceManager가 판단하여 수행한다. 이 과정에서 XXXTypeSupportImpl, XXXTypeSupportC, XXXC 파일들은 각 토픽(topic)별로 생성되며, COpenDdsDataManager는 이를 인클루드하여 해당 토픽에 대한 객체를 생성하고 송신을 수행한다. 이를 통해 NSCP는 OpenDDS 발행, 구독(pub-sub) 구조에서 유연하게 다수의 토픽을 관리하고, 각각의 토픽에 대해 독립적인 데이터 송신이 가능하다. 이러한 설계는 토픽별 확장성과 재사용성을 높이는 데 효과적이다.

IV. Software Evaluation

1. Evaluation of the NSCP-OpenDDS Architecture Based on SOLID Principles

NSCP-OpenDDS 아키텍처의 SOLID 준수성 평가 결과는 아래와 같으며, 요약은 Table 1에 수록하였다.

◎ SRP(Single Responsibility Principle)

단일 책임 원칙을 준수하기 위해 COpenDdsInterfaceManager는 시스템 전반의 송·수신 흐름만 관리하고, COpenDdsDataManager는 토픽 객체 생성과 DDS를 통한 송신 수행으로 책임을 한정하며, DataReaderListenerImpl은 수신 데이터의 감지와 상위 전달 트리거 역할로 제한하도록 설계하였다.

◎ OCP(Open Closed Principle)

개방-폐쇄 원칙을 준수하기 위해 GfeInterfaceManager는 PasInterfaceManager를 상위 일반화로 두고 TCP·UDP·Serial 등의 통신 방식을 분리된 구성요소로 처리하도록 구성하였다. 이후 OpenDDS 통신이 요구되었을 때에도 PasInterfaceManager나 GfeInterfaceManager를 수정하지 않고, 기존 구조는 그대로 둔 채 COpenDdsInterfaceManager를 새로운 구성요소로 도입하여 구조를 설계하였다. 이와 같이 기능 확장에는 열려 있고 코드 변경에는 닫혀 있는 구조를 실현하도록 설계하였다.

◎ LSP(Liskov Substitution Principle)

리스코프 치환 원칙을 준수하기 위해 GfeInterfaceManager를 상위 클래스로 두고 PasInterfaceManager와 COpenDdsInterfaceManager가 이를 상속하도록 하였다. 하위 클래스들은 상위 클래스의 행위를 변경하거나 위반하지 않으므로 동일한 사용 맥락에서 일관되게 대체 가능하게 리스코프 치환 원칙을 준수하도록 설계하였다.

◎ ISP(Interface Segregation Principle)

NSCP-OpenDDS 아키텍처는 역할별로 분리된 인터페이스 구조로 설계 하였다. IGfeInterfaceSender와 IGfeInterfaceReceiver는 송신과 수신에 필요한 동작만을 각각 정의한다. 이에 따라 송·수신 기능을 사용하는 클라이언트는 자신이 필요로 하는 인터페이스에만 의존하며, 사용하지 않는 기능의 구현을 강요받지 않는다. 이와 같이 역할별로 분리함으로써 인터페이스 분리 원칙을 준수하도록 설계하였다.

◎ DIP(Dependency Inversion Principle)

의존관계 역전 원칙을 준수하기 위해 상위 추상 타입(CGfeInterfaceManager)에 송신 함수(sendGfeMsg)를 순수 가상 함수로 정의하고, COpenDdsInterfaceManager

가 이를 OpenDDS 기반으로 구현하도록 설계하였다. 이 설계에서는 상위 정책 모듈이 구체 구현을 직접 참조하거나 생성하지 않고, 오직 추상 타입(CGfeInterfaceManager)의 인터페이스만 사용한다. 하위 모듈은 OpenDDS 구현을 포함하여 해당 인터페이스를 구현한다. 어떤 구현을 사용할지는 의존성 주입(DI) 구성 단계에서 결정·주입되므로 상위 코드에는 구현 클래스명이 등장하지 않는다. 즉, 상위는 추상 인터페이스에만 의존하고 하위 구현은 그 인터페이스를 따르도록 하여 의존관계 역전 원칙을 준수하도록 설계하였다.

Table 1. Compliance Evaluation Table for SOLID Principles

SOLID principles	Compliance status	Description
SRP	0	All classes comply with the SRP.
OCP	0	By adding OpenDDS communication without modifying existing classes, the system maintained flexibility and maintainability.
LSP	0	The structure in which 'GfeInterfaceManager' serves as the base class and 'PasInterfaceManager' and 'OpenDdsInterfaceManager' inherit from it adheres well to the Liskov Substitution Principle.
ISP	0	The NSCP-OpenDDS architecture faithfully adheres to the Interface Segregation Principle by adopting an existing interface structure separated by roles.
DIP	0	sendGfeMsg function as a pure virtual function, CGfeInterfaceManager delegates the implementation of the transmission method to its subclasses, thereby adhering well to the Dependency Inversion Principle.

2. Impact analysis Using Cyclomatic Complexity

사이클로매틱 복잡도는 클래스 내 각 메서드가 가지는 독립적인 실행경로의 수를 측정하는 지표입니다. 조건문과 같은 제어 흐름문(control flow statement)이 많을수록 실행 경로도 많아지며 독립 경로 수가 많아질수록 개발자가 코드를 이해하고 테스트 하는데 필요한 노력도 증가하게 된다.[14-15]

NSCP의 레거시 방식과 확장 설계된 NSCP-OpenDDS 방식간의 구조적 차이를 정량적으로 분석하기 위해 각 함수의 사이클로매틱 복잡도(Cyclomatic Complexity, CC)와 코드 라인 수(LOC)를 측정하였다. 양측 모두 동일한 조건을 유지하기 위해, HMS 연동에 사용된 동일한 메시지

포맷(Fig. 5.)을 수신 처리하는 과정을 구현한 코드를 비교 대상으로 하였다.

Byte	N		N+1
1-4	Message Number		
5-8	Message Length		
9-12	TTS		
13-6	TTF		
17-20	Reserved		
21-24	OM		
25-28	ATR		
29-32	Reserved	ATM	ATS
33-36	SM		Reserved

Fig. 5. HMS Integration Message Example

Table 2. CC (Cyclomatic Complexity) and LOC (Lines of Code) Measurement

Architecture	CC	LOC
NSCP Legacy Architecture	8	39
NSCP-OpenDDS Proposed Architecture	4	16
Reduction Rate	50%	59%

Table 2.의 CC 및 LOC 감소율은 $\{(Legacy - Proposed) / Legacy\} \times 100\%$ 로 계산하였다. 여기서 Legacy는 기존 NSCP 아키텍처 Proposed는 NSCP-OpenDDS 아키텍처이다. 제안 구조는 CC는 50%(8→4), LOC는 59%(39→16) 감소를 달성하였다.

일반적으로 복잡도가 높을수록 코드 라인 수 역시 증가하는 경향이 있다. 레거시 방식은 패킷의 헤더를 먼저 수신 분석하여 메시지 번호와 전체 길이를 파악한 뒤, 그 길이에 맞춰 다시 전체 바디를 수신 분석하는 2단계 파싱 구조를 따른다. 이 과정은 조건 분기, 유효성 검사, 예외 처리, 버퍼 정리 등 복잡한 제어 흐름을 포함하며, 테스트 경로가 늘어나고 유지보수 부담도 커지게 된다.

반면, DDS 기반 구현은 IDL(Interface Definition Language)을 기반으로 정의된 메시지 구조체 형태로 데이터를 자동 수신하며,

take_next_sample() 호출 시 이미 역직렬화된 객체로 전달된다. 또한, DDS는 각 샘플에 대해 SampleInfo.valid_data를 통해 데이터 유효성 여부를 함께 제공하므로, 개발자는 필요한 경우에만 비즈니스 로직 수준의 추가 유효성 검사만 구현하면 된다.

이러한 구조적 차이는 Fig. 6.의 플로우차트에 명확히 드러난다.

레거시 방식 (Fig. 6.)은 헤더 확인 → 유효성 검사 → 바디 재수신 → 메시지 번호 분기 → 구조체 파싱 등의 복잡한 흐름과 조건 분기를 포함하며, 총 CC 8의 높은 복잡도를 가진다.

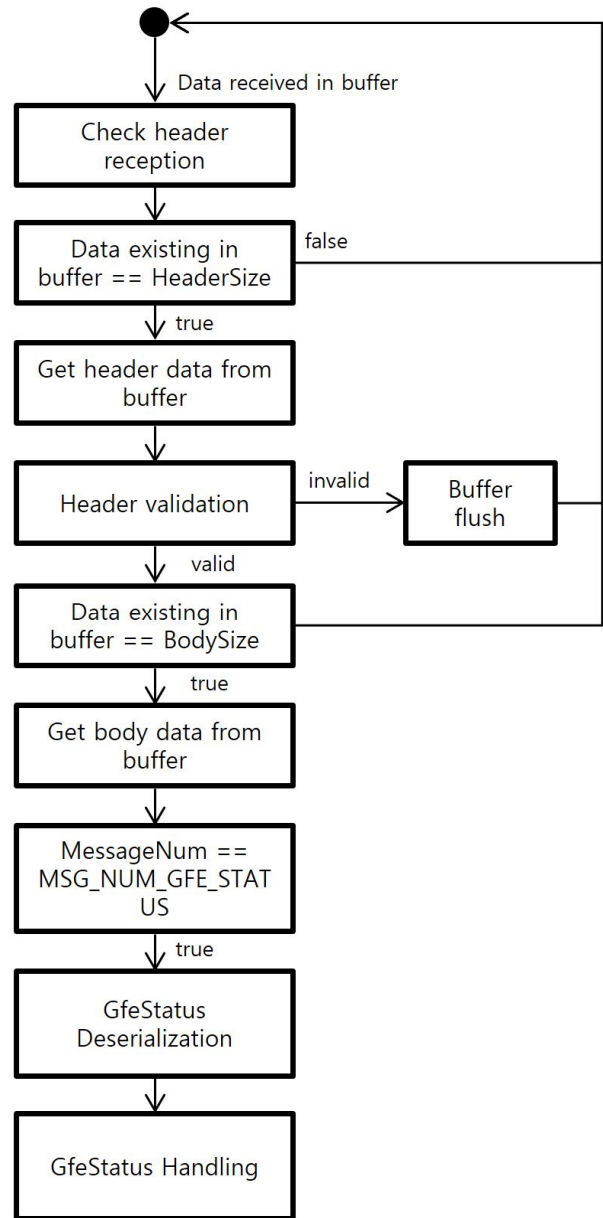


Fig. 6. Legacy Packet Processing Flow

NSCP-OpenDDS 방식 (Fig. 7.)은 Topic 이름 확인 → 샘플 수신 → 유효성 확인 → 처리로 이어지는 단순하고 일관된 제어 흐름으로, 복잡도가 절반 이하로 감소하였다.

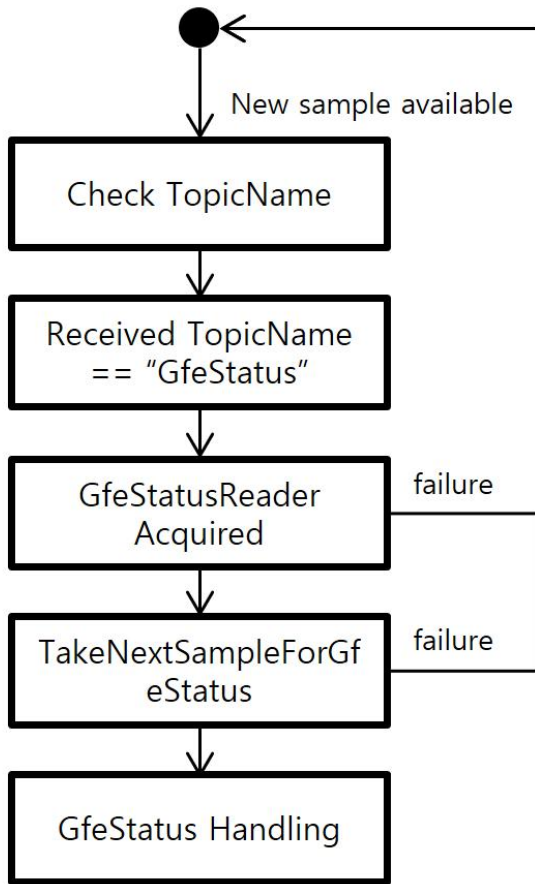


Fig. 7. NSCP-OpenDDS Packet Processing Flow

결론적으로, 동일한 메시지 포맷을 처리함에도 불구하고, NSCP-OpenDDS는 구조적 복잡도를 낮추고 코드량을 줄이며, 개발자가 메시지 해석에 들이는 부담을 현저히 경감시킨다. 이는 유지보수성, 확장성 향상에 있어 실질적인 효과를 갖는다는 점을 실증적으로 보여준다.

V. Conclusions

본 연구에서는 NSCP의 기존 설계 원칙(SOLID)을 유지하면서 국제 표준 통신 방식 DDS(Data Distribution Service)를 활용한 NSCP-OpenDDS 아키텍처를 제안하고, 이를 통해 기존 시스템과의 호환성을 유지하면서, 동일 HMS 메시지 기준 CC 50%, LOC 59%를 감소시켜 복잡도를 낮춰 유지보수성을 향상 하였다.

특히, 기존 Interface Manager 및 Message Converter의 구조를 변경하지 않고 SOLID 원칙을 준수하여 DDS 모듈을 추가하여 설계 하였다. 여기서 구조 변경이 없다는 의미는 기존의 인터페이스 및 데이터 변환 로직을 그대로 유지하면서, 새로운 DDS 모듈이 기존 시스템

과 상호 작용할 수 있도록 독립적인 계층을 추가하는 방식을 의미한다. 즉, TCP, UDP, Serial 통신을 담당하는 기존 모듈을 수정하지 않고도, DDS 데이터를 처리할 수 있는 별도의 인터페이스 도입하여 기존 시스템과의 통합을 가능하게 하였다.

REFERENCES

- [1] CSBaekand JHAhn, "A Study of the Standard Interface Architecture of Naval CombatManagement System," Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 26, No. 1, pp. 147-154, January 2021. DOI:10.9708/jksci.2021.26.01.147
- [2] DonghwiHan, Jinyong Hwang, Ji-Hoon Bae, and JongHyuk Lee, "Design of Open SystemArchitecture and Data Model for Upgrading Ground based Weapon System,"Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 19, No. 12, pp.151-161, Dec. 2021. DOI: 10.14801/jkiit.2021.19.12.151
- [3] ObjectManagement Group, "OMG DDS Portal,"<https://www.omg.org/omg-dds-portal/>
- [4] Object Management Group, " DDS™ – Data Distribution Service," <https://www.omg.org/spec/DDS/>
- [5] Object Management Group, " DDSI-RTPS™ – DDS Interoperability Wire Protocol," <https://www.omg.org/spec/DDSI-RTPS>
- [6] H. K. Kim, "A study for the reduction of the SW reliability test time and human errors using the SW reliability test automation," Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 20, No. 10, pp. 45-51, Oct. 2015. DOI: 10.9708/JKSCI.2015.20.10.045
- [7] SMKwon and SMJung, "Virtualization-based high-efficiency naval combat management system design and performance analysis," Journal of the Korea Society of Computer and Information, Vol. 23, No. 11, pp. 9-15, Nov. 2018. DOI: 10.9708/jksci.2018.23.11.009
- [8] Galleon Embedded Computing, "NGVA Data Model and OpenDDS," <https://galleonec.com/ngva-data-model-and-opendds/>
- [9] V. Slyusar, "The Concept of Networked Distributed Engine Control System of Future Air Vehicles," STO AVT-357 Research Workshop on Technologies for future distributed engine control systems (DECS), pp. 1-11, Online, May 2021.
- [10] Object Management Group, "OpenDDS", <https://opendds.org>
- [11] The Object Management Group, "OpenDDS® Middleware", <https://objectcomputing.com/products/opendds/>
- [12] R. C. Martin, "Agile Software Development, Principles, Patterns, and Practices," Prentice Hall, pp. 95-145, 2002.
- [13] R. C. Martin, "Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship," Prentice Hall, pp. 138-140, 2008.
- [14] I. Yanakiev, B.-M. Lazar, and A. Capiluppi, "Applying SOLID

- principles for the refactoring of legacy code: An experience report," *Journal of Systems and Software*, Vol. 220, Art. no. 112254, Feb. 2025. DOI: 10.1016/j.jss.2024.112254.
- [15] A. Tahir, S. Counsell, and S. G. MacDonell, "An empirical study into the relationship between class features and test smells," *Proceedings of the 23rd Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC)*, pp. 137-144, Hamilton, New Zealand, Dec. 2016. DOI: 10.1109/APSEC.2016.029.
- [16] T. F. Nygaard, P. Bunker, A. Tiderko, J. Główska, F. E. Schneider, N. H. Nielsen, M. Bryła, and K. Mathiassen, "Interoperability for Semi-Autonomous Unmanned Ground Vehicles," *Proceedings of the 2025 International Conference on Military Communication and Information Systems (ICMCIS)*, pp. 1-10, Oeiras, Portugal, May 2025. DOI: 10.1109/ICMCIS64378.2025.11047908
- [17] A. Astarloa, P. Fernández, J. Lázaro, M. Idirin, and S. Salas, "Time-Sensitive Networking to meet Hard-real Time Boundaries on Edge Intelligence Applications," *Proceedings of the 2023 38th Conference on Design of Circuits and Integrated Systems (DCIS)*, pp. 1-6, Málaga, Spain, Nov. 2023. DOI: 10.1109/DCIS58620.2023.10336008.
- [18] NATO Generic Vehicle Architecture (NGVA), "NATO Generic Vehicle Architecture," <https://www.natogva.org/>

Authors



Ki-Woon Yeun received the B.S degree in Computer and Information Engineering from Pusan National University, Korea. He is currently an Engineer in Hanwha Systems Co., Ltd.

He is interested in software engineering, with a particular focus on software architecture.



Su-Seok Park received the B.S degrees in Computer Science and Engineering from Kumoh National Institute of Technology, Korea. He is currently working in Hanwha Systems Co. from 2009.

He is interested in Naval Combat Management System Software, Software Engineering.



Young-San Kim received B.S degree in Computer Science and Electrical Engineering from Handong University, Pohang, Korea. He is currently working in Hanwha Systems Co. from 2009.

He is interest in Naval Combat Management System Software, Human Computer Interface and System Engineering.