

A Study on Efficient Design of Surveillance RADAR Interface Control Unit in Naval Combat System

Dong-Kwan Kim*, Dong-Han Jung*, Won-Seok Jang*, Young-San Kim*, Hyo-Jo Lee*

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

[Abstract]

In this paper, we propose an efficient surveillance RADAR(RADio Detection And Ranging) interface control unit(ICU) design in the naval combat system. The proposed design applied a standardized architecture for modules that can be shared in ship combat system software. An error detection function for each link was implemented to increase the recognition speed of disconnection. Messages that used to be sent periodically for human-computer interaction(HCI) are now only transmitted when there is a change in the datagram. This can reduce the processing load of the console. The proposed design supplements the radar with the waterfall scope and time-limited splash recognition in relation to the hit check and zeroing of the shot when the radar processing ability is low due to the adoption of a low-cost commercial radar in the ship. Therefore, it is easy for the operator to determine whether the shot is hit or not, the probability of wrong recognition can be reduced, and the radar's resources can be obtained more effectively.

▶ **Key words:** Naval combat system, Surveillance RADAR, Interface control unit, Connectivity, Hit check

[요 약]

본 논문은 함정 전투체계에서 효율적인 탐색레이더 연동단 설계 방법을 제안한다. 제안된 탐색레이더 연동단은 함정 전투체계 소프트웨어에서 공용화 모듈(Module)을 표준화한 구조를 적용하였다. 링크(Link)별 오류탐지 기능을 구현하여 링크 단절시 링크 단절에 대한 인지 속도를 높였다. 또한 HCI(Human-Computer Interaction)를 위해 주기적으로 전송하던 메시지를 데이터그램(Datagram)의 변화가 있을 때만 송신하여 콘솔(Console)의 처리 부하를 줄일 수 있다. 특히 제안 방법은 함정에서 저가형 상용 탐색레이더 채택 등으로 프로세싱(Processing) 능력이 뛰어나지 못한 경우 사격에 대한 명중 확인 및 영점 조절과 관련하여 워터폴 스킵(Waterfall Scope)와 시간 제한 물기등 인지 방법으로 탐색레이더의 기능을 보완해줄 수 있다. 이를 통해 운용자의 사격 명중 판단이 용이해지고, 오인지 확률을 줄일 수 있으며, 탐색레이더의 가용자원을 추가로 확보할 수 있다.

▶ **주제어:** 함정 전투체계, 탐색레이더, 연동단, 연결성, 명중 확인

- First Author: Dong-Kwan Kim, Corresponding Author: Dong-Kwan Kim
*Dong-Kwan Kim (dongkwan@hanwha.com), Naval R&D Center, Hanwha Systems
*Dong-Han Jung (konho42@naver.com), Naval R&D Center, Hanwha Systems
*Won-Seok Jang (cws0714g@gmail.com), Naval R&D Center, Hanwha Systems
*Young-San Kim (y.san.kim@hanwha.com), Naval R&D Center, Hanwha Systems
*Hyo-Jo Lee (hjwish.lee@hanwha.com), Naval R&D Center, Hanwha Systems
- Received: 2023. 10. 20, Revised: 2023. 11. 14, Accepted: 2023. 11. 15.

I. Introduction

함정 전투체계(CMS: Combat Management System)의 도입으로 운용자는 다기능콘솔(MFC: Multi Function Console, 이하 콘솔)을 통해 각종 센서 및 무장 장비들을 편리하게 운용할 수 있다[1-2]. 최근 함정의 대형화 및 신규 장비들의 지속적인 도입에 따라 시스템의 규모가 점차 커지고 있다[1,3]. 특히 센서나 무장 장비들을 전투체계와 연결하기 위해서는 연동단(ICU: Interface Control Unit)이 필수적이다[4-7]. 따라서 콘솔과 다수의 연동단 간 통신으로 인해 콘솔에 가해지는 처리 부하가 커지고 있음을 의미한다. 이러한 부하는 신속한 판단과 대처가 요구되는 운용자의 임무 수행에 영향을 끼칠 수 있다[8-10]. 그러나 함정 전투체계에서의 연동단과 관련된 연구들은 주로 공용화나 모듈화를 위한 연동단의 자체의 구조 개선에 관한 연구들이 대부분이다[4-7]. 특히 신뢰성 시험 등을 위시한 코드 수정에 수반되는 인적 자원 소요를 줄이는 것을 목적으로, 연동단의 재사용을 고려한 아키텍처(Architecture) 개선을 통해 표준화를 적용했기 때문에 연결성 및 콘솔 부하에 대한 고려가 상대적으로 적은 편이다.

한편 프로세싱 능력이 떨어지는 탐색레이더가 필요에 따라 함정에 장착되는 경우, 연동단이 탐색레이더의 능력을 보완해줄 수 있다면 운용자의 신속한 판단과 의사결정을 도울 수 있다. 그러나 함정 전투체계에서의 연동단 개발 목적이 장비와 체계 간 연동을 구현하는 것에 초점이 맞춰져 있으므로 상기 서술한 것과 관련된 연구는 미진한 실정이다. 레이더를 보조하여 성능을 향상시키는 기존의 연구들 중에 다중 센서 융합 분야가 있다[11-13]. 하지만 이 기술들은 다수의 센서들이 존재하는 환경을 가정하는 것과, 센서들에서 수집한 원형의 데이터를 취합하고 가공할 수 있는 점에서, 본 논문의 시스템 모델인 단일 탐색레이더-단일 연동단에는 적용이 어렵다.

본 논문에서는 함정 전투체계에서 탐색레이더 연동단 설계 방법을 제안하고자 한다. 사격과 관련된 탐색레이더의 기능을 보완하여 운용자의 명중 판단을 돕고, 물기둥의 오인지 확률을 줄이며, 탐색레이더의 가용자원 확보를 돕는다. 또한 제안한 탐색레이더 연동단은 표준화 아키텍처를 기반으로 장비와 연동단 간 링크 끊김을 신속히 인지하고, HCI(Human-Computer Interaction)를 위한 콘솔과 연동단 간 메시지 송수신량을 감소시켜 콘솔의 처리 부하를 줄일 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 시스템 모델인 함정 전투체계, 연동단, 표준 연동단 아키텍처, 탐색레

이더에 대한 개념을 설명하고 이어서 기존 연구를 간략히 소개한다. 3장에서는 탐색레이더 연동단의 설계 방법을 제안하고 성능을 분석한다. 마지막으로 4장에서는 본 논문에 대한 결론과 기대효과에 관해 서술하며 끝을 맺는다.

II. Preliminaries

1. System Model

본 논문의 제안 설계 방법이 적용되기 위한 시스템 모델에 대해 기술한다.

1.1. Naval Combat System

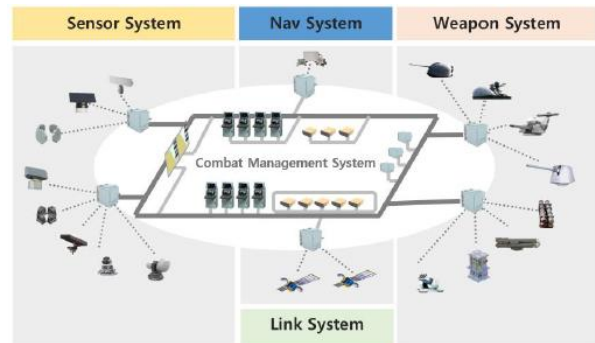


Fig. 1. System Architecture of Naval Combat System

함정 전투체계는 Fig. 1과 같이 함정에 탑재된 모든 센서, 무장, 항해 지원 장비 등을 네트워크로 연결하여 통합된 전술 상황 정보를 만들어 공유하고 표적의 탐지, 추적에서부터 위협평가, 무장 할당, 교전 및 명중 여부 평가 분석에 이르기까지 지휘 및 무장통제를 자동화함으로써 위협에 대한 전투 효과를 극대화시키기 위한 통합체계로 지휘통제, 무장통제, 전술자료 교환 및 전시 등을 수행하는 시스템이다[14].

1.2. Interface Control Unit

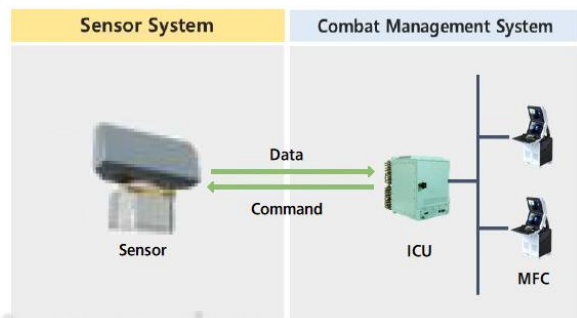


Fig. 2. Example of Interface Control Unit

연동단은 함정 전투체계 내 장비와 통신을 위해 합의된 연동 사양(물리적 체결, 프로토콜, 통신설정, 주기, 데이터 형식, 연동 개시/종료 조건 등)을 규정한 ICD(Interface Control Document)에 따라 Fig. 2와 같이 서로 다른 두 체계 간 데이터 및 명령을 교환하는 기능을 수행한다[14]. 자세히는 타 체계 간 정보 공유를 위해 장비에서 보낸 데이터를 연동단 시스템에서 함정 전투체계 메시지로 변환하여 다른 체계 간 정보 공유 작업을 수행한다. 운용자는 함정 전투체계에 생성된 정보가 종합돼 전시되는 콘솔의 HCI를 통해 장비를 제어할 수 있다. 함정 전투체계에 포함된 대상 장비의 수가 증가하면 할수록 콘솔의 HCI를 통해 동시에 제어해야 할 연동단 및 장비의 개수가 증가한다. 따라서 콘솔의 연산 처리 및 부하를 고려한 효율적인 연동단 설계가 필수적이다.

1.3. Naval Shield Component Platform

함정 전투체계 표준 연동 아키텍처(NSCP: Naval Shield Component Platform)는 객체지향 프로그래밍과 SOLID(Single responsibility, Open closed, Liskov substitution, Interface segregation, Dependency inversion) 설계 원칙을 기반으로, 종래의 절차적 프로그래밍 패러다임으로 설계된 함정 전투체계의 연동단 구조를 변경하였다[5].

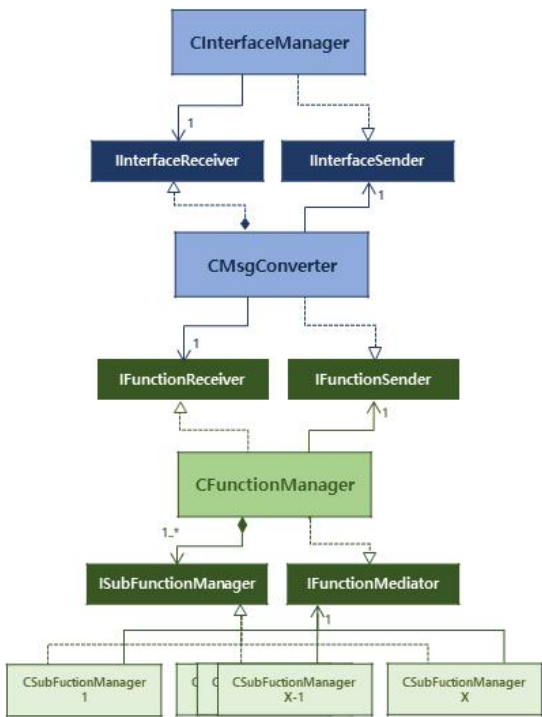


Fig. 3. Naval Shield Component Platform

특히 연동단의 유지보수, 개선, 확장 등을 고려하여 공통기능을 별도로 구현해둠으로써, 연동단 개발자가 공통기능을 제외한 개별기능만을 구현하게 하므로 총체적 인적 자원 소요를 줄이기 용이한 구조다.

NSCP는 Fig. 3과 같이 여러 개의 컴포넌트(Component)가 인터페이스 클래스(Interface Class)를 통해 연결되어 있다.

장비로부터 다수의 TCP(Transmission Control Protocol)/IP(Internet Protocol)를 사용하는 인터페이스 링크(Interface Link, 이하 링크)가 연동단에 접속되는 경우, NSCP의 확장성을 기반으로 공용 컴포넌트인 인터페이스 매니저(Interface Manager)와 메시지 컨버터(Message Converter)를 통해 링크를 다중으로 늘리기 용이하다. 그러나 각 컴포넌트와 인터페이스 클래스를 공통으로 사용하기에 각각의 링크를 분리하여 관리하기 어려운 점이 있다.

1.4. Surveillance Radar

탐색레이더는 대공, 대함, 유도탄 탐지 및 추적, 함포사격 지원 기능을 수행하는 함정 전투체계의 핵심장비이다 [15]. 탐색레이더는 표적의 표면에서 반사된 신호를 처리하여 표적의 거리와 방위를 추정하고, 신호처리를 통해 얻어진 특정 표적에 대한 정보는 A스코프(Scope), B스코프, C스코프 등과 같은 형태로 표현될 수 있다[16]. A스코프는 시간과 신호크기의 2차원 형태로 시간의 흐름에 따른 표적의 신호 변화를 표현하고 B스코프와 C스코프는 각각 방위와 거리, 각도와 거리의 2차원 형태로 표적의 위치를 표현한다. 그러나 표적의 위치를 나타낼 수 없는 A스코프를 차지하고, B스코프와 C스코프는 표적에 대한 실시간 위치만을 나타내므로 표적과 표적 주변의 시간적 변화 흐름을 파악하는 것은 어렵다. 탐색레이더에서 스코프에 대한 기록/재생 기능을 제공할 수 없다면, 표적 소실 후 해당 표적을 재확인하는 것은 더욱 불가능하다. 이를 함정 전투체계에 구현하려면 장비 또는 연동단에서 수신되는 메시지 전부를 사전에 기록해두고, 네트워크 전체를 해당 시점으로 회귀시켜야 하는 오버헤드가 발생한다.

일부 탐색레이더는 사격 지원에 대한 일환으로 물기둥 표적을 인지하는 기능을 보유한다. 물기둥을 인지함으로써 함포의 영점조절을 지원하고, 사격 후 표적의 명중확인을 용이하게 하며 표적과 물기둥의 분리 식별도 가능해진다. 그러나 탐색레이더의 물기둥을 인지하는 기능은 일반 표적에 비해 어려움이 높다. 이는 포탄의 종류에 따라 물기둥이 작을수록 탐지가 더욱 어려워지고, 기상 상태에 따른

영향을 크게 받기 때문이다[17]. 물기둥을 인식하는 신호 처리 역시 복잡하고, 자원을 많이 소모한다[18].

탐색레이더 본연의 성능이 뛰어나거나 기능이 많다면 연동단을 활용하여 탐색레이더의 능력을 보완할 필요는 없다. 그렇지만 목적이나 필요에 따라 다소 성능이 낮은 탐색레이더가 함정 전투체계에 채택된다면, 연동단 설계를 통해 이를 보완해줄 수 있다.

2. Related Works

2.1. Interface Control Unit

H. Y. Shin은 함기준센서의 연동단 표준화를 제안하였다[4]. 기존의 함정 전투체계에서는 표준화된 구조 및 연동 모델을 가지고 있지 못하였으므로, 재사용성 및 범용성을 향상시킬 수 있는 연동단 표준화 방안을 제시하였다. 링크 연결성 및 콘솔의 HCI 부하에 대한 고려가 없다. C. S. Baek은 1.3에서 설명한 것처럼 함정 전투체계의 연동단 구조를 표준화하기 위해 NSCP를 제안하였으나, 공통 기능을 제외한 나머지 부분은 사용자에게 맡김으로써 연결성 및 콘솔의 부하에 대한 언급은 없다[5]. H. J. Choi는 피아 식별기의 성능 개량을 위한 연동단 표준화 설계를 제안하였다[6]. 하드웨어, OS, 미들웨어가 다른 환경에서 동작할 수 있는 연동단을 고려하였으며, 연결성 및 콘솔에 대한 설명은 부재하다. H. B. Lee는 연동단 내 공통 기능들을 식별하여 모듈화하고 연동장비에 의존적인 부분을 최소화한 표준화 연동단 구조를 제안하였다[7]. 앞의 연구들과 마찬가지로 연결성 및 콘솔의 부하는 고려되지 않았다.

본 논문에서 제안할 연동단 설계는 국내 함정 전투체계에서도 NSCP를 기반으로 하는 시스템 모델을 가정하였고, 비교군인 연동단 표준화와 관련된 연구들 모두 연결성이나 콘솔의 부하에 대한 언급이 없으므로 뒤에 기술할 3장의 성능 비교에 있어서 어려움이 있다. 또한 국내외 할 것 없이 연구 분야로서 연동단은 특별한 기술이 포함되기 보다는 데이터나 명령을 주고 받기 위한 단순한 구현에 치중하여 관련 연구도 부족하다.

2.2. Supplementing Sensors, including RADAR

H. Cho는 차량에서 레이더와 라이다(LiDAR: Light Detection And Ranging)의 센서를 활용하여 움직이는 객체의 탐지/추적의 정확도를 높이는 방법을 제안하였다[11]. 차량 환경에서 레이더 외 추가적인 센서를 활용했고, 센서의 원형 데이터를 가공하는 점에서 본 논문의 시스템 모델과 상이하다. M. H. Haghbayan은 해양 환경에서 레이더, 라이다, 카메라 등 센서들에서 독립적으로 얻은 감

지 결과를 융합하고 딥러닝(Deep learning)을 활용하여 객체 탐지/분류의 정확도를 높였다[12]. 해양 환경을 기반으로 했지만, 레이더 외 여러 가지 센서와 딥러닝 기술을 사용하는 등 본 논문의 시스템 모델에 적용이 어렵다. J. W. Han은 선박에 장착된 레이더, 라이다, 카메라 등 다중 센서를 활용하여 주변 타선을 추적하기 위한 융합 방식에 대해 소개하였다[13]. 다중센서를 활용한 점과 운동 궤적만을 고려하여 단일 점 표적이 아닌 이동 표적에 대해서만 적용 가능한 점이 아쉽다.

Y. Nomura는 레이더의 B스코프 이미지를 합성할 때, 반사파로 인해 가려지는 부분을 개선하는 방법을 제시하였다[16]. 그러나 상기 연구는 해양이 아닌 지반 환경을 기반으로 삼고, 레이더의 종류도 특정하고 있으며, 이미 합성된 이후의 B스코프 이미지를 활용해야 하는 연동단의 역할에는 맞지 않아 적용이 어렵다. M. S. Sim은 함정용 탐색레이더의 표적 추적 탐지 알고리즘을 개선하여 B스코프의 표적 추적의 정확도를 높였다[19]. 상기 방법은 탐색레이더에서 획득한 원형 데이터를 가공 및 처리해야 한다. 그러나 본 논문의 기여점인 연동단은, 탐색레이더에서 이미 가공 및 처리가 끝나고 표적화 된 데이터만을 활용할 수 있다.

III. The Proposed Scheme

1. Surveillance Radar ICU Software Design

1.1. Waterfall Scope Supplementing Gun Firing

기존 탐색레이더 스킵들이 표적에 대한 실시간 위치만을 표현하므로[16] 운용자가 표적 이동의 흐름을 알고 싶다면, 탐색레이더에서 스킵에 대한 기록/재생 기능을 제공하거나 함정 전투체계에서 네트워크 메시지 전체에 대한 기록/재생 기능을 지원하는 것이 필요하다. 상기 기능을 지원하는 탐색레이더를 채택하지 못하여, 함정 전투체계에서 기록/재생 기능을 구현했다라도 실시간 작전 수행 중에는 재생 기능을 활용하기 어렵다. 기존 탐색레이더의 스킵 관련 연구들도 B스코프의 데이터 정확도를 개선하는 데만 공헌하므로[16,19] 상기 기능을 보완해주지는 못한다.

그러나 제안 설계는 스킵를 워터폴(Waterfall) 형태로 구현함으로써 상기 문제를 해결하였다. Fig. 4와 같이 탐색레이더로부터 스킵 방위, 거리 등과 같은 데이터를 수신하면, 워터폴 스킵으로 표현할 영역을 지정하고, 영역 내 데이터들을 워터폴의 가로줄 데이터로 변환한 다음, 시

간 별로 저장한 뒤, 시간 별로 저장된 데이터들을 적층하여 HCI에 전시한다. 이로써 운용자는 재생모드 진입 없이 실시간으로 해당 표적과 표적 주변의 이동 흐름을 인지할 수 있다. Table 1에서 기존 스크프들과 제안 설계의 워터폴 스크프 기능을 비교하였다. A스�크프는 타임라인에 따라 표적의 신호크기를 표현하여 표적의 위치를 나타내지 못하고, B스�크프와 C스�크프는 위치정보를 표현하지만 타임라인을 그려낼 수 없다. 제안 설계는 위치와 타임라인을 모두 반영한다.

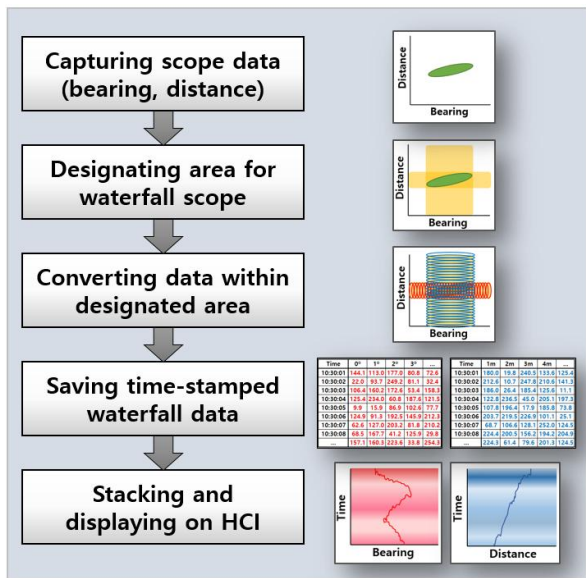


Fig. 4. Waterfall Scope Implementation

Table 1. Comparison between existing scopes

	Target location	Timeline
Ascope	X	O
Bscope	O	X
Cscope	O	X
Proposed	O	O

1.2. Time Limited Splash Recognition

앞서 설명한 레이더의 정확도를 높이는 것과 관련된 기존 연구들은 레이더 외에도 다른 센서의 원형 데이터가 필요하다[11-13]. 그러나 제안 설계는 탐색레이더에서 전송된 표적 정보만을 가지고 물기둥 탐지에 대한 정확도를 높일 수 있다. 자세한 것은 Fig. 5 타임라인 예시처럼, 기존의 표적 할당 및 해제 시간 전체에 대해 물기둥 인지를 시도하는 것 대신에, 함정 전투체계에서 제공된 도탄 시간 정보를 탐색레이더에 알림으로써 도탄 시간 근처에서만 물기둥을 탐지하고, 해당 시간 외 인지된 물기둥은 제외하는 메커니즘을 적용한다. 한편 탐색레이더에서 도탄 시간 정

보를 획득 및 활용하는 기능을 지원하지 않을 경우, 연동 단 자체적으로 탐색레이더에서 송신한 물기둥 정보를 필터링해야한다. 이로써 물기둥의 오인지 확률을 줄일 수 있다. 그리고 탐색레이더는 물기둥 탐지 시간을 감소시킨 만큼 자원을 추가로 확보할 수 있으므로 또다른 표적 탐지나 추적 등의 태스크에 잉여 자원을 활용할 수 있을 것이다.

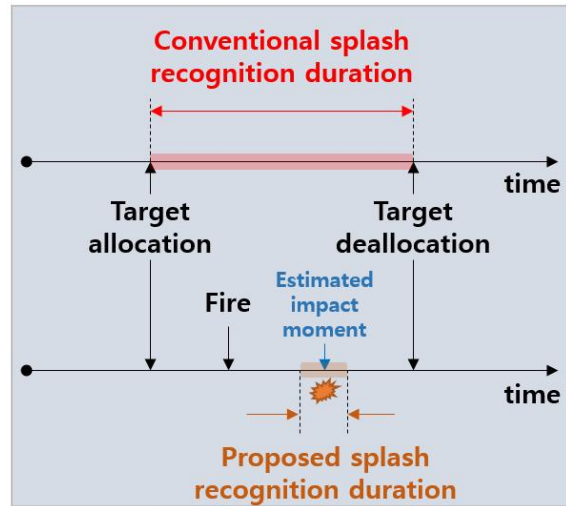


Fig. 5. Timeline of Time Limited Splash Recognition

제안 설계는 오인지 된 물기둥 표적이 발생하는 사건 수 자체를 줄이기 때문에 오인지율에 대한 성능 개선의 효과는 보장할 수 있으나, 오인지율은 함정 전투체계에서 제공하는 함포 도탄 정보의 정확도에 영향을 받을 수 있다. 제안 설계를 적용한 함정 전투체계의 개발이 완료되고 함정 운용 및 사격 시험을 수행한 후, 추후 논문에서 성능 실험을 추가로 다룰 예정이며 아래에 제안 설계의 오탐지율 감소에 대한 분석을 기술한다.

기존 설계 대비 제안 설계의 물기둥 오탐지 변화율 R_{change}^{err} 은 수식 (1)과 같다. 여기서 D_{prop} 는 제안 설계의 물기둥 탐지 구간을, p_e 는 초당 물기둥 오탐지 발생 확률을, D_{tot} 는 기존 설계의 물기둥 탐지 구간을 각각 의미한다.

$$R_{change}^{err} = \left(\frac{D_{prop}p_e - D_{tot}p_e}{D_{tot}p_e} \right) \times 100 \quad (1)$$

R_{change}^{err} 을 그래프로 나타낸 Fig. 6에서 알 수 있는 것처럼, $D_{prop} < D_{tot}$ 이면 $R_{change}^{err} < 0$ 이 된다. 한편 D_{prop} 가 한없이 작아지면 R_{change}^{err} 은 -100에 수렴하여 물기둥 오탐지가 아예 발생하지 않음을 의미하나, 도탄 시간 정보도 오차가 있으므로 현실적으로 불가능하다. 그리고 D_{prop} 이 D_{tot} 와 같아지면 R_{change}^{err} 은 0이 되는데, 이는 도탄 시간 정보를 아예 활용하지 못하는 경우다.

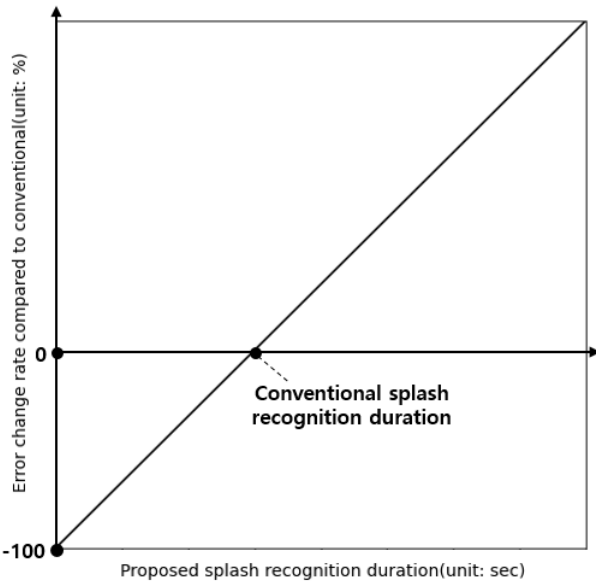


Fig. 6. Error change rate compared to conventional

2. Naval Combat System Software Design

2.1. Immediate Link Breakage Recognition

함정 전투체계에서 기존 NSCP를 활용한 연동단은 특정 링크에 링크 단절과 같은 문제가 발생했을 때, 해당 링크를 식별함에 있어서 수 초의 시간이 필요하다.

이는 연동 대상 장비의 ICD에서 정해진 Heartbeat 주기와 관련되어 있다. Fig. 7에서 표현된 것처럼 연동단 각각 링크에서 시간 T_{HB}^{Linkn} ($n = 1 \dots N$, $N =$ 링크 수) 동안 Heartbeat 성격의 메시지를 수신하지 못함으로써 링크 단절을 식별할 수 있기 때문이다. 국내뿐만 아니라 해외에서 제작되는 상용 연동 장비들의 T_{HB}^{Linkn} 는 수초 대이며, 이는 ICD상 정의된 장비 특성으로 변경이 불가능하다. 만약 ICD에서 링크마다 주기적으로 송수신하는 메시지가 정의되지 않았다면, 해당 링크의 단절을 파악하는 것은 더욱 어렵다.

기존 NSCP를 포함한 연동단 설계가 상기와 같은 방법을 사용한 이유는 개발 및 유지보수의 용이성을 위해 라이브러리화된 NSCP를 사용하고, 추가로 필요한 기능은 응용 레벨에서 직접 구현했기 때문이다[5].

그러나 제안 설계는 커널(Kernel) 레벨에서 발생하는 TCP/IP 에러 콜백(Callback)을 받을 수 있게 NSCP의 TCP/IP 관련 함수들을 수정 및 구현하여 Fig. 8처럼 TCP/IP 단절 콜백이 수신되면 문제가 발생한 링크를 정확히 식별할 수 있다.

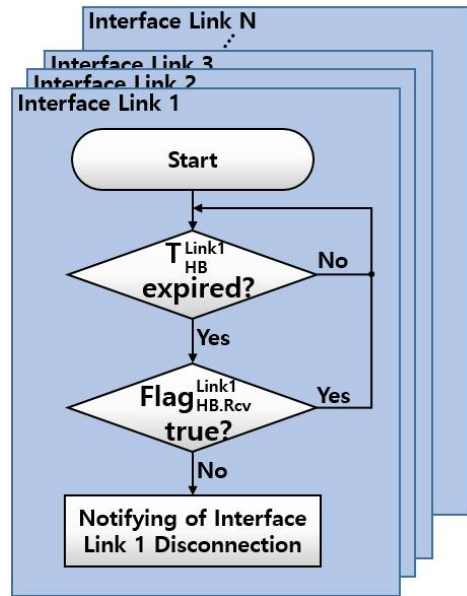


Fig. 7. Conventional Link Breakage Recognition

제안 설계는 기존 NSCP에서 Fig. 3에 표시된 인터페이스 매니저와 메시지 컨버터를 있는 인터페이스 리시버 (Interface Receiver)에서 발생하는 콜백 함수를 개선하였다. 상기 콜백 함수는 커널에서 발생하는 TCP/IP 에러 보고를 즉각적으로 받을 수 있다. 한편 Fig. 7의 TCP/IP 단절 콜백의 발생 메커니즘 중 일부는 Fig. 8의 동작 과정과 유사할 수 있다. 그러나 커널의 콜백은 메시지의 송수신 발생으로써 연결성을 체크하는 것뿐만 아니라 커널에서 포트 (Port)가 닫히는 즉시 콜백을 발생시켜주는 기전을 포함하므로, 거의 즉각적으로 링크 단절을 인지할 수 있다.

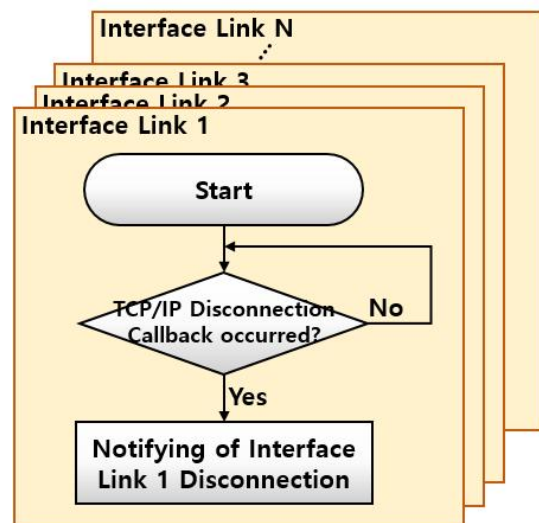


Fig. 8. Immediate Link Breakage Recognition

운용자는 연결이 단절된 것을 인지함으로써 해당 장비의 하드웨어(케이블, 전원부 등)에 신속한 조치를 취할 수 있다. 만약 평시가 아니라 전시 중 실시간으로 표적의 정보를 획득해야 하는 작전 상황이라면, 신속한 연결 단절 인지의 중요성은 더욱 커질 것이다[8-10].

연동단과 장비가 연결된 상태에서 강제로 링크를 끊은 후 측정된 링크 단절의 인지 시간을 Table 2에 정리했다. T_{HB}^{Link} 는 3초, 5초로 설정하고 100회 반복 수행하여 결과 값을 도출하였다. 기존 NSCP는 T_{HB}^{Link} 에 근접하여 링크 단절 인지 시간이 측정되는 반면, 제안 설계는 콜백 수신에 걸리는 시간이 수 밀리초로 거의 즉각적으로 링크 단절을 인지할 수 있다.

Table 2. Experimental results of link breakage recognition time between NSCP and proposed

(unit: sec)	NSCP	Proposed
$T_{HB}^{Link1} = 3$	2.969	0.004
$T_{HB}^{Link2} = 5$	4.818	0.004

2.2. Minimizing Unnecessary Messaging

기존 함정 전투체계 연동단은 콘솔의 HCI에 장비의 상태를 표시하거나 운용자의 명령에 대한 응답을 확인하기 위해, Fig. 9와 같이 전송할 메시지가 없더라도 HCI를 위한 메시지 갱신 주기인 T_{MP} 마다 메시지를 전송하는 것이 일반적이다.

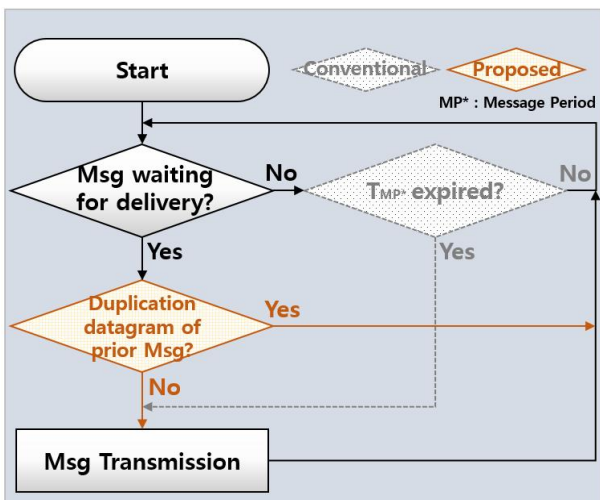


Fig. 9. Minimizing Unnecessary Messaging

이러한 기존 방법은 개발자의 설계 및 유지보수가 용이한 장점이 있지만, 함정 전투체계에 포함되는 연동 대상 장비들이 많아질수록 순간적으로 콘솔에서 수신하는 메시

지들이 더욱 증가한다. 콘솔에서 메시지를 수신할 때마다 HCI를 갱신하기 위한 처리가 수반돼 HCI의 응답시간이 증가한다. 상기 콘솔 부하는 신속한 판단과 대처가 요구되는 운용자의 임무 수행에 영향을 끼칠 수 있고 전시 상황이라면 더욱 민감한 문제대[8-10]. 앞서 설명한 연동단 개선과 관련된 기존 연구들도 상기 문제점에 대한 고려나 관련된 언급이 없다[4-7].

제안하는 연동단 설계는 Fig. 9와 같이 T_{MP} 마다 메시지를 전송하는 것을 생략하고, 전송할 메시지가 생길 경우 이전에 전송한 메시지의 데이터그램과 새로 보낼 메시지의 데이터그램(Datagram)을 비교하여, 다를 경우에만 메시지를 송신한다.

제안 설계와 관련하여 연동단에서 콘솔로 초당 전송되는 평균 메시지 수는 수식 (2)-(3)과 같이 정의된다.

$$N_{tot.msg}^{conv} = \left\{ N_{msg}^{I2M} p_t \left(1 + \frac{1}{p_t T_{MP}} \right) \right\} + \left\{ \frac{N_{tr}}{T_{MP}^{tr}} \right\} \quad (2)$$

$$N_{tot.msg}^{prop} = \left\{ N_{msg}^{I2M} p_t (p_d) \right\} + \left\{ \left(\frac{N_{tr}}{T_{MP}^{tr}} \right) p_d^{tr} \right\} \quad (3)$$

여기서 N_{msg}^{I2M} 는 연동단에서 콘솔로 송신할 수 있는 메시지 종류의 수를, p_t 는 초당 전송할 메시지가 생성될 확률을, T_{MP} 는 일반 메시지 전송 주기를, T_{MP}^{tr} 는 표적 관련 메시지 전송 주기를, N_{tr} 은 표적 수를, p_d 는 일반 메시지가 생성됐을 때 데이터그램이 이전 메시지와 다를 확률을, p_d^{tr} 는 표적 관련 메시지가 생성됐을 때 데이터그램이 이전 메시지와 다를 확률을 각각 의미한다. 첫 번째 중괄호는 표적과 관련되지 않은 일반 메시지의 송신과 연관되고, 두 번째 중괄호는 표적과 관련된 메시지의 송신과 연관되며, 표적 관련 메시지 수는 1개로 가정하였다.

결과적으로 왼쪽 중괄호에서 $N_{msg}^{I2M} p_t$ 는 기존과 제안 설계가 동일하고 p_d 는 $0 < p_d < 1$ 이므로, 왼쪽 중괄호에 대해서 $N_{tot.msg}^{conv} > N_{tot.msg}^{prop}$ 임을 추정할 수 있다. 그리고 오른쪽 중괄호에서도 p_d^{tr} 는 $0 < p_d^{tr} < 1$ 이므로 최종적으로 $N_{tot.msg}^{conv} > N_{tot.msg}^{prop}$ 임을 도출할 수 있다.

실험을 통해 연동단에서 콘솔로 전송되는 초당 메시지 수를 Fig. 10에 표시하였고, 자세한 실험 환경은 Table 3과 같다. 평시(Peace)와 전시(Combat)를 가정하고 주변에 존재하는 표적 수(N_{tr})를 달리하여 조합한 5가지 시나리오(표적없음+평시, 표적5개+평시, 표적5개+전시, 표적50개+평시, 표적50개+전시)에서 운용자가 표적 탐지 및 사격을 모의로 수행하였다. 연동단에서 콘솔로 송신할 수 있는 메시지 종류의 수(N_{msg}^{I2M})는 12개, 탐색레이더의 기능 중

표적 정보와 관련 없는 일반적인 메시지의 전송 주기 (T_{MP})는 1초, 표적 정보와 관련이 있는 메시지의 전송 주기(T_{MP}^{tr})는 2초로 각각 설정하였다.

Table 3. Experimental parameters

Parameters	Values
Running time	6 hours
Case	5
Situation	Peace, Combat
N_{tr}	0, 5, 50
N_{msg}^{DM}	12
T_{MP}	1 second
T_{MP}^{tr}	2 seconds

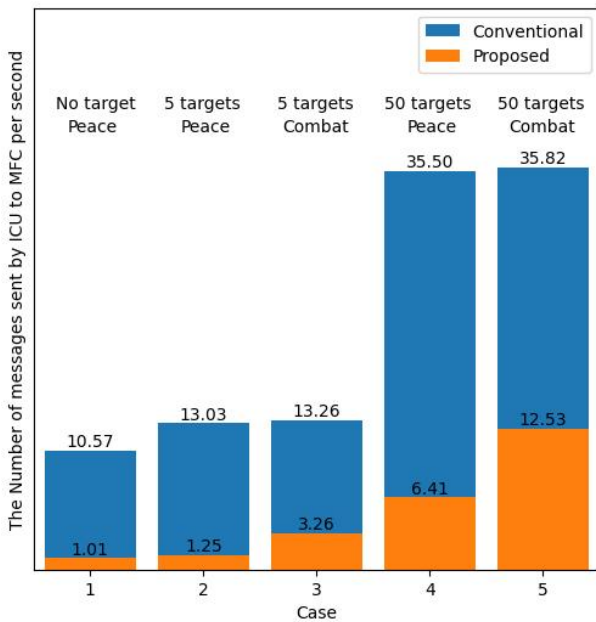


Fig. 10. The number of messages transmitted from ICU to MFC per second

제안 설계는 매초 연동단에서 송신하여 콘솔로 수신된 메시지가 기존 설계보다 대폭 감소한 것을 Fig. 10을 통해 알 수 있다. 주변에 표적이 없고 평시일 경우(Case 1) 메시지 수신량을 90프로 감소시켰고, 주변에 표적이 5개 존재하는 경우 평시(Case 2)에는 90프로, 전시(Case 3)에는 75프로를 각각 감소시켰다. 주변에 표적이 50개 존재하는 경우 평시(Case 4)에는 81프로, 전시(Case 5)에는 65프로 감소했다. 이는 제안 설계가 기존 설계와 달리 주기적으로 항상 수신하는 메시지를 줄이고, 수신하는 메시지 자체도 메시지 내 데이터그램의 변화가 있을 때만 수신하기 때문이다. 제안 설계의 메시지 감소율이 평시(Case 2, 4)에 비해 전시(Case 3, 5)에 다소 부진한 이유는, 전시에 운용자

의 조작으로 메시지의 데이터그램 변화도가 높아지기 때문이며, 수식 (3)에서 p_d, p_d^{tr} 이 전시에 더 커지는 것으로부터 기인한다. 한편 기존과 제안 설계 모두 주변 표적 수가 증가하면 메시지 수가 증가한다. 이는 표적 정보와 관련된 메시지 수가 증가하기 때문이며, 수식 (2)와 (3)에서 N_{tr} 이 증가하는 것에서 기인한다.

이처럼 제안 설계를 적용하면 콘솔이 순간적으로 수신하는 메시지 수를 감소시켜 메시지 처리나 HCI를 갱신하는 것에 대한 콘솔의 부하량을 줄일 수 있다. 특히 다수의 연동단이 운용돼 동시 실행해야 하는 HCI가 많은 경우, 이와 같은 방법은 더욱 효과적일 수 있다.

IV. Conclusions

본 논문에서는 함정 전투체계에서 효율적인 탐색레이더 연동단 설계 방법을 제안하였다. 제안된 탐색레이더 연동단은 워터폴 스크립트와 시간 제한 물기동 인지 방법을 통해서 탐색레이더의 프로세싱 능력이 낮은 경우에도 사격 지원 기능을 보완할 수 있음을 보였다. 그리고 함정 전투체계 소프트웨어에서 표준화된 아키텍처를 기반으로 링크 단절시 링크 단절에 대한 인지 시간을 줄여 운용자가 신속한 대처를 취할 수 있게 했고, 콘솔의 HCI를 위한 메시지 오버헤드를 줄여 콘솔의 처리 부하를 감소시켰다. 본 연구는 실 운용 환경에 유용하게 쓰일 것이며 나아가 함정 전투체계 개선에 대한 연구 자료로도 효과적으로 활용될 것이다.

REFERENCES

- [1] S. J. Ko and D. H. Park, "Overseas Technology Trend and Domestic Development Pattern of the Naval Combat Management System," *Korea Association of Defense Industry Studies*, vol. 16, no. 2, Dec. 2009.
- [2] D. Y. Park, et al., "Multi Function Console display configuration and HCI design to improve Naval Combat System operability," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, vol. 24, no. 12, pp. 75-84, Dec. 2019. DOI: 10.9708/jksci.2019.24.12.075
- [3] H. F. R. Arciszewski, et al., "Adaptive Automation in a Naval Combat Management System," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, vol. 39, no. 6, pp. 1188-1199, Nov. 2009. DOI: 10.1109/TSMCA.2009.

2026428

- [4] H. Y. Shin and J. Y. Kim, "Research of OSD Standardization in Naval Combat System," *Conference on Information and Control Systems*, pp. 354-355. Apr. 2012.
- [5] C. S. Baek and J. H. Ahn, "A Study of the Standard Interface Architecture of Naval Combat Management System," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, vol. 26, no. 1, pp. 147-154, Jan. 2021. DOI: 10.9708/jksci.2021.26.01.147
- [6] H. J. Choi, et al., "A Study on IFF ICU Standardization for IFF Mode 5," *Korea Institute of Military Science and Technology*, Nov. 2018.
- [7] H. B. Lee, "Improvement of Software structure to improve reusability of interface Control Unit Software in Combat system," *Korea Institute of Military Science and Technology*, Jun. 2017.
- [8] S. H. Jeong, et al., "Development direction of naval ship system integration," *Bulletin of the Soc. Naval Architects of Korea*, pp. 15-20, Mar. 2020.
- [9] J. W. Lee, et al., "Blockchain-Based Data Sharing Scheme to Enhance Reliability and Security for Naval Combat Systems," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 47, no. 6, pp. 809-817, 2022. DOI: 10.7840/kics.2022.47.6.809
- [10] J. Y. Im and D. S. Kim, "Performance evaluation of virtualization solution for next generation naval combat systems," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, vol. 56, no. 2, pp. 41-49, 2019. DOI: 10.5573/ieie.2019.56.2.41
- [11] H. Cho, et al., "A multi-sensor fusion system for moving object detection and tracking in urban driving environments," *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 1836-1843, 2014. DOI: 10.1109/ICRA.2014.6907100
- [12] M. H. Haghbayan, et al., "An Efficient Multi-sensor Fusion Approach for Object Detection in Maritime Environments," *21st International Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 2163-2170. 2018. DOI: 10.1109/ITSC.2018.8569890
- [13] J. W. Han, et al., "A Research on Performance Comparison of Multi-sensor Fusion Methods for Maritime Target Object Tracking by Sensor Fusion," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 25, no. 6, pp. 452-462, 2019. DOI: 10.5302/J.ICROS.2019.19.0055
- [14] H. J. Choi, "Software Standardization and Simulator Design for Efficient Reliability Test," *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, vol. 27, no. 12, pp. 151-159, Dec. 2022. DOI: 10.9708/jksci.2022.27.12.151
- [15] S. W. Kim and Y. S. Yang, "Study on Analysis of Driving Torque and Reduction for Naval Surveillance Radar Antenna," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 12, no. 3, pp. 388-395, 2009. UCI: G704-001584.2009.12.3.016
- [16] Y. Nomura, et al., "A secondary reflection pattern synthesis for GPR B-scope images," *International Workshop on Advanced Ground Penetrating Radar*, pp. 1-4, 2015.
- [17] B. J. Kim, "METHOD FOR CHECKING IMPACT ERROR," Republic of Korea Patent 102567619, Oct. 27, 2022.
- [18] H. I. Shin, "METHOD FOR PRECISELY DETECTING TARGET IN A SURVEILLANCE RADAR," Republic of Korea Patent 101001612, Feb. 13, 2009.
- [19] M. S. Sim, "A Study on the Improvement of Naval Surveillance Radar to Solve the Target Display Problem," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 21, no. 10, pp. 541-546, 2020. DOI: 10.5762/KAIS.2020.21.10.541

Authors



Dong-Kwan Kim received the B.S degree in Dept. of Electrical Engineering from Konkuk University, Seoul, Korea and the M.S. degree in Dept. of Electrical and Computer Engineering from Seoul National University,

Korea. He is currently working in Hanwha Systems Co. from 2020. He is interested in Naval Combat System, Combat System Support Software and Interface Control Unit Software.



Dong-Han Jung received B.S degree in Electronics from Kyungpook National University, Korea. He is currently working in Hanwha Systems Co. from 2009. He is interested in Unmanned System Software,

Human Computer Interface and System Engineering.



Won-Seok Jang received M.S degree in Computer Engineering from Chungnam National University, Korea and completed Ph.D. program from Kyungpook National University, Korea. He is currently working in

Hanwha Systems Co. from 2017. He is interest in Naval Navigation System, Naval Unmanned System and Naval Safety System.



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.



Hyo-Jo Lee received B.S degree in Electronics from Kyungpook National University, Korea. He is currently working in Hanwha Systems Co. from 2010. He is interest in Naval Combat System and Combat

System Support Software.