

A Study of the Submarine Periscope Detection Algorithm using Characteristic of Target HRRP Information

Jin-Hyang Ahn*, Chi-Sun Baek*

*Engineer, SW Team(Naval), Hanwha Systems Co., Ltd., Gumi, Korea

*Senior Engineer, SW Team(Naval), Hanwha Systems Co., Ltd., Gumi, Korea

[Abstract]

The ability of Combat Management System(CMS) to respond quickly and accurately to threat to a naval vessel is directly related to the survivability and combat power of the vessel. However, current method for detecting enemy submarine periscope in CMS rely on manual and subjective method that require operators to manually verify and analyze information received from sensor. This delays the response time to the threat, making the vessel less viable. This paper introduces a periscope detection algorithm that classifies the plot information generated by High Resolution Range Profile(HRRP) into probability-based suspicion classes and dramatically reduces threat response time through classified notifications. Algorithm validation showed 133.3791×10^6 times faster and 12.78%p higher detection rate than operator, confirming the potential for reduces threat response time to increase vessel survivability.

▶ **Key words:** Combat Management System, Threat Response Time, Submarine, Periscope, HRRP

[요 약]

해군 함정의 위협에 대한 전투체계의 신속하고 정확한 대응능력은 함정의 생존력 및 전투력과 직결된다. 하지만 현재 해군 함정전투체계의 적 잠수함 잠망경 탐지 방법은 센서로부터 수신한 정보를 운용자가 직접 확인하고 분석하는 수동적이고 주관적인 방법에 의존하고 있다. 이는 위협에 대한 대응 시간을 지연시켜 함정의 생존력을 저해하는 요인이 된다. 본 논문에서는 표적의 고해상도 거리 측면도(High Resolution Range Profile, 이하 HRRP)를 통해 생성된 Plot 정보를 확률에 따른 의심 등급으로 구분하고, 등급별 알람을 통해 위협 대응 시간을 비약적으로 단축시키는 잠망경 탐지 알고리즘을 소개한다. 알고리즘 테스트 결과 운용자 대비 133.3791×10^6 배 빠른 탐지 판단시간과 12.78%p 높은 탐지 성공률을 도출하여 해군 함정 생존력을 높일 수 있는 위협 대응 시간 단축 가능성을 확인하였다.

▶ **주제어:** 함정전투체계, 위협 대응시간, 잠수함, 잠망경, 고해상도 거리 측면도

• First Author: Jin-Hyang Ahn, Co-author : Chi-Sun Baek, Corresponding Author: Jin-Hyang Ahn

*Jin-Hyang Ahn (jinh.ahn@hanwha.com), SW Team(Naval), Hanwha Systems Co., Ltd.

*Chi-Sun Baek (cs214.baek@hanwha.com), SW Team(Naval), Hanwha Systems Co., Ltd.

• Received: 2023. 12. 01, Revised: 2023. 12. 26, Accepted: 2023. 12. 26.

I. Introduction

대한민국 영해를 수호하는 해군 함정의 전투체계는 함정의 두뇌이자 전투력의 핵심이라고 할 수 있다. 따라서 위협에 대한 전투체계의 신속하고 정확한 대응능력은 함정의 생존력 및 전투력에 직결된다.

현대전에서 해군 함정의 가장 큰 위협이 될 수 있는 잠수함은 어뢰 공격, 정찰 등의 임무를 수행하기 위해 잠망경을 해수면 위로 부상시킨다. 따라서, 아군의 함정을 보호하기 위해서는 잠망경을 적시에 탐지하여 적 잠수함의 임무 수행을 저지하여야 한다.

현재는 함정 전투체계 운용자가 수동으로 잠망경 탐지를 수행한다. 즉, 레이더 센서에 탐지된 신호 군이 거리 환이 표시된 콘솔 화면에 전시되면(Fig. 1.), 운용자가 신호 군을 선택하여 다른 콘솔 화면에 신호 군의 신호를 전시하고(Fig. 2.), 그중 특정한 신호를 선택하여 Plot 정보를 전시(Fig. 3), 전시된 Plot 정보를 운용자가 경험적으로 판독하여 잠망경 여부를 결정한다. 따라서, 신호의 개수가 늘어날수록 잠망경 탐지가 지연되는 문제점이 있다. 또한, 잠망경은 함정 높이에 비해 상당히 낮고 해수면에 상당히 가까운 높이에서 운용되기 때문에 신호에는 다량의 클러터가 포함된다. 이에 신호에 포함된 클러터만큼 운용자가 판독할 신호량이 많아지고, 판독 시 난이도가 상승함으로써 판독 시간이 증가하고 정확도가 떨어져 위협에 대한 대응 시간을 지연시키는 가장 큰 요인이 될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 낮은 높이에서 주로 운용되는 표적을 정확하게 식별할 수 있는 해상 표적 식별 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 배경 지식인 잠수함의 위험성과 함정 전투체계, HRRP(High Resolution Range Profile)를 소개한다. 3장에서는 표적 HRRP 특성 정보를 이용한 잠수함 잠망경 탐지 알고리즘을 제시하고 방법론에 대해 설명한다. 4장에서는 알고리즘의 검증 결과를 통해 기존 운용자의 시험 결과와 알고리즘 결과를 비교하고 평가한다. 마지막으로 5장에서 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

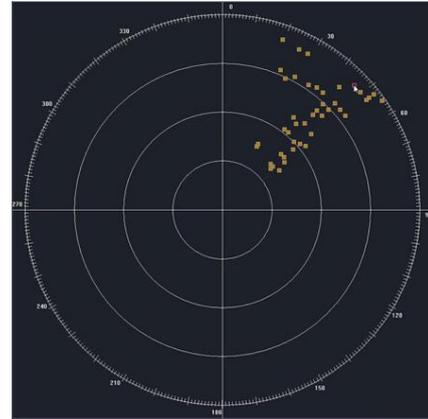


Fig. 1. Plots on the distance wheel



Fig. 2. Plots in a distance-time graph



Fig. 3. The plot selected by operator

II. Preliminaries

1. Background

1.1 The danger of Submarine to battle ship

세계 2차대전에서 입증된 핵심 전력인 잠수함은 현대전에서도 가장 위협적인 군사 무기 중 하나로 꼽힌다. 잠수함 고유의 특성인 은밀성으로 인해, 일단 항구를 출항한 후에는 정확한 위치 파악이 어려워 강한 세력에 대한 견제 세력

으로서 현대전에서 가장 중요한 무기체계로 꼽힌다[1]. 한편, 잠수함에서 대 수상 및 대공 표적을 은밀하게 시각적으로 확인하기 위해서 잠망경을 해수면 위로 부상시키므로, 잠망경을 탐지하는 것은 즉 잠수함을 탐지하는 것이고 이것은 해군 전술에서 굉장히 중요한 부분을 차지한다.

현대전에서 대잠수함 작전을 수행하기 위한 탐지 기술은 음향 탐지방식과 비음향 탐지방식으로 구분하고 있으며, 상호 간의 장단점이 뚜렷하여 두 방식을 병행하여 사용한다.[2] 음향 탐지방식은 소나를 운용하는 것으로, 소리의 수송 속도와 반사로부터 적 잠수함의 위치와 움직임을 파악할 수 있다. 하지만 소나는 소음, 수심, 수온구조 등 주변 환경에 영향을 받으며[3], 적의 소음을 줄이거나 회피하기 위한 대응책에 한계가 있다. 비음향 탐지방식은 수상함과 항공기에 탑재되어있는 탐지레이더나 적외선 탐지장비를 통한 탐지를 예로 들 수 있다. 잠수함이 적성의 임무를 수행하기 위해 잠망경 심도로 항해할 때, 공중이나 수상에서 임무 중인 레이더나 광학장비를 통해 탐지될 수 있는 확률이 매우 높아지기에 잠수함 탐지에 있어 가장 중요한 시점이다. 하지만 잠망경은 낮은 RCS(Radar Cross Section, 레이더 단면적) 표적으로 해상환경에서 탐지에 어려움이 있다.[4] 또한 현재 비음향 탐지방식에서의 잠수함 탐지방식은 레이더 정보나 시각 정보를 바탕으로 운용자의 주관적인 판단에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 본 논문에서는 잠망경 탐지 알고리즘을 통해 잠망경 의심 신호로 선별된 신호를 의심 등급별로 운용자에게 알려주는 자동화된 방식을 제안하여 잠수함 탐지의 정확성 및 신속성을 높이고자 한다.

1.2 Naval Combat Management System

1.2.1 Introduce of Combat Management System

함정전투체계는 함정에 탑재된 센서, 무장 및 전술통신체계를 통합하여 해상전투 임무를 수행하는 일련의 자동화된 복합 무기체계이다. 적의 위협을 조기에 탐지하기 위해 센서 체계로부터 수신한 전술 상황과 외부로부터 수집한 전술정보를 통합 처리 및 분석하여 Fig. 4.와 같은 동시다발적인 전투상황에서 최적의 전투 능력을 제공할 수 있도록 지휘 및 통제하는 시스템이다.[5]

현대의 해상전투 환경은 급격한 IT 기술의 발전으로 위협 속도와 위협 표적의 피탐 회피능력이 증가하여 위협에 대한 대응 시간이 점차 줄어들고 있다. 이에 따라 전투체계는 해군의 전투력 극대화를 위하여 자동화된 전술 대응 시스템으로 개발되는 추세이다.

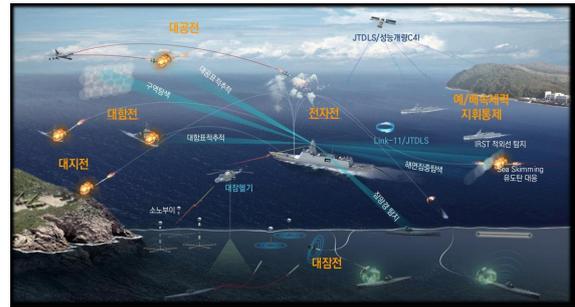


Fig. 4. Function of Naval Combat Management System

1.2.2 Configuration of Combat Management System

함정 전투체계는 Fig. 5.와 같이 지휘무장통제체계(Combat Fire Command System, CFCS), 센서, 무장 및 데이터링크로 구성되며, 함정의 임무와 특성에 따라 다양한 구성이 가능하다. CFCS는 데이터를 처리하는 정보처리장치, 운용자의 명령을 입력받고 전술 상황을 전시하는 다기능콘솔, 외부 장비를 전투체계와 연동하는 연동단 등으로 구성된다.[6][7]

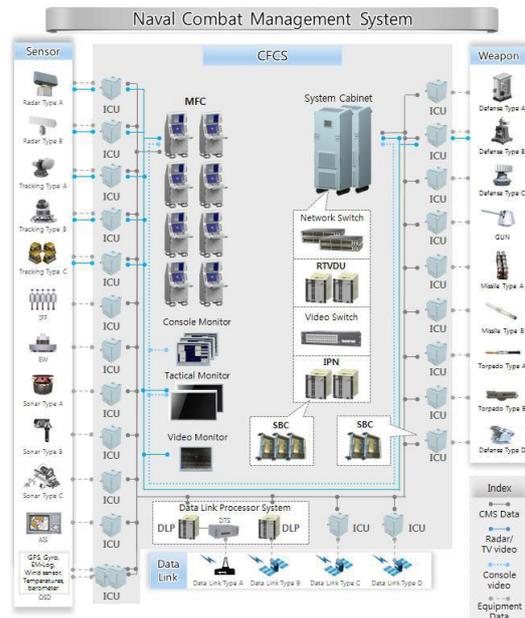


Fig. 5. Configuration of Naval Combat Management System [7]

1.3 HRRP(High Resolution Range Profile)

HRRP는 레이더를 이용한 표적식별에 사용되는 가장 기본적인 신호이다.[8] HRRP는 LOS(Line of Sight, 레이더 가시선) 방향으로 표적의 고유한 전자기적 산란 분포에 대한 정보를 1차원 레이더 영상으로 보여준다. 이는 표적의 기하학적인 모양 및 재질에 따라 달라지기 때문에 표적의 세부 구조, 크기, 속도 등을 추정할 수 있다.[9]

Fig. 6.은 120m 길이의 페리에 대한 HRRP를 나타낸 것으로, 이와 같이 HRRP는 표적의 각 반사기를 통해 생성되는 다수의 개별 진폭 값으로 구성된다.[10]

국내 개발 함정 전투체계의 경우, 최신에 호위함에 탑재되는 다기능위상배열레이더를 통해 처음으로 전투체계에서 HRRP를 획득하여 처리할 수 있게 되었다.

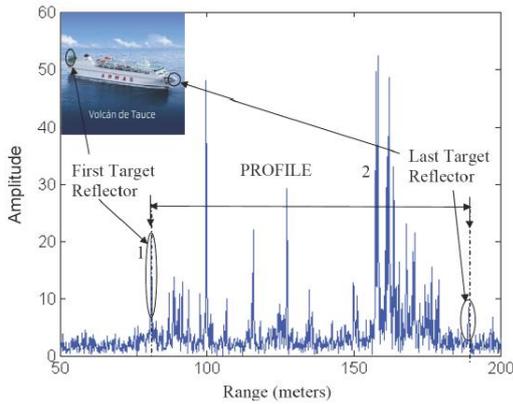


Fig. 6. HRRP for a Ferry[10]

2. Related works

그간의 연구에서는 레이더 파형의 신호처리 알고리즘 개선을 통한 잠망경 탐지 유효성 및 탐지 성능을 확인하였다. 본 연구에서는 HRRP의 개별 진폭 값을 이용하여 잠망경 탐지 및 알람까지의 전 과정을 자동화하는 방법론을 제시한다.

2.1 Hough Transform by Selecting Parameters

함정용 X밴드 다기능 AESA 레이더에서 잠망경 탐지를 위해 레이더 파형에 허프 변환을 적용하여 해상 클러스터 및 잡음을 억제해 통해 잠망경 탐지의 성능을 개선 한 연구이다. 스캔 간 누적 처리를 위한 허프 변환을 통해 잠망경 탐지의 유효성 및 성능을 확인하였다.[4]

2.2 MMTI Signal Processing Algorithm

잠망경을 탐지할 수 있는 항공용 레이더를 이용하여 최적의 MMTI(Maritime Moving Target Indicator) 운용환경 및 운용 방법을 제안한 연구이다. 추가로 작은 해상 표적을 탐지하기 위해 STAP(Space-Time Adaptive Processing)을 활용한 신호처리 알고리즘을 제시하여 다양한 RCS에 대한 최적의 운용환경 및 운용 방법을 분석하였다.[11]

III. The Proposed Scheme

본 연구에서는 저고도에서 운용되는 표적인 잠망경을 보다 정확하게 탐지하고 운용자에게 알람까지의 전 과정을 자동화하는 방법을 제시한다. 그 방법으로, Fig. 7.과 같이 세 단계에 거쳐 분석한 결과에 따라 의심 등급을 결정하고 운용자에게 알린다. 첫째, HRRP를 기반으로 잠망경 의심 신호로 식별한다. 둘째, 최소 2초간 누적된 의심 신호의 변화량을 통해 의심 등급을 산정한다. 셋째, 의심 등급을 기반으로 운용자에게 잠망경이 탐지되었다는 것을 알린다. 운용자는 의심 등급으로 표시된 Plot 정보만 선택하여 필요에 따라 전자추적광학장비 등으로 종속추적을 실행하여 잠망경 의심 표적을 관측한다.

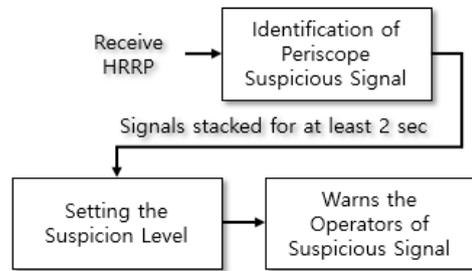


Fig. 7. Block Diagram of Periscope Detection Algorithm using HRRP

1. Identification of Periscope Suspicious Signal

HRRP를 기반으로 잠망경 의심 신호로 식별하는 과정에서 해상상태에 따른 파고 또는 클러스터에 의한 오탐지 방지를 위해 해수면 높이에 대해 부상한 잠망경의 높이 비를 이용한다. 해수면 높이에 대한 잠망경 예상 높이 비 R_H 는 아래 조건식(1)과 같다.

$$R_H = \frac{H_P}{H_W} \tag{1}$$

여기서 H_P 는 잠망경 예상 높이, H_W 는 해수면 높이를 나타낸다.

레이더는 HRRP 별로 복수(N) 개의 HRRP 신호 세기값을 전달한다. HRRP 신호 세기값은 신호가 반사되는 높이와 선형적인 관계가 있다. 따라서 복수(N) 개의 HRRP 신호 세기값 중에서 표적으로부터 반사된 신호가 있다면, 해당 신호의 신호 세기값이 가장 클 수 있다. 잠망경과 같이 좁은 가로 폭의 소형표적은 고해상도 거리분해능을 가진 HRRP에서 1~2개 정도 샘플에서만 강력한 신호로 탐지될 수 있다. HRRP의 신호 획득 스케일과 통상의 잠수함의 가로 폭으로 말미암아, HRRP를 통해 잠망경이 탐지될 때 해수면에 부유

하는 다른 표적은 같은 HRRP내 존재할 수 없다고 가정할 수 있으므로, 잠망경으로 의심할 수 있는 가장 큰 신호 세기 값을 제외한 나머지 신호 세기값들의 평균값을 해수면 높이의 평균값으로 한다. 여기에 해수면 높이에 대한 잠망경 예상 높이를 비를 곱하면 해상에서 부상하는 잠망경의 의심 신호 기준치를 구할 수 있는데 이는 관계식(2)와 같다.

$$a_T = R_H \times \frac{(\sum_{k=1}^N a_k) - a_{peak}}{N-1} \quad (2)$$

여기서 a_T 는 잠망경 추정 기준치, $a_1 \dots a_k \dots a_N$ 은 HRRP 신호 복수 개의 신호 세기값이며 그 중 a_1 은 단위 영역 내에서 레이더 신호의 가시선 방향으로 함선과 가장 가까운 거리에서 수신된 신호 세기값, a_N 은 단위 영역 내에서 레이더 신호의 가시선 방향으로 함선과 가장 먼 거리에서 수신된 신호 세기값, a_{peak} 는 HRRP 신호 복수 개의 신호 세기값 $a_1 \dots a_k \dots a_N$ 중 가장 큰 값, N 은 HRRP 신호의 복수 개의 신호 세기값의 개수를 나타낼 수 있다.

상기 HRRP를 의심 신호로 판정하는 기준은 신호 세기 값 중에서 잠망경의 의심 신호 기준치인 a_T 보다 큰 값이 있으며, 그 값들이 잠망경 추정 폭인 기준 구간 미만의 신호 구간에 부합 하면 잠망경 의심 신호로 식별한다. 이는 아래 조건식(3), (4), (5)를 통해 조건식(6)으로 판정한다.

$$A = (a_{peak} \geq a_T) \wedge (a_{peak-1} < a_T) \wedge (a_{peak+1} < a_T) \quad (3)$$

$$B = (a_{peak} \geq a_T) \wedge (a_{peak-1} \geq a_T) \wedge (a_{peak+1} < a_T) \quad (4)$$

$$C = (a_{peak} \geq a_T) \wedge (a_{peak-1} < a_T) \wedge (a_{peak+1} \geq a_T) \quad (5)$$

$$(A \vee B \vee C) \Rightarrow (S_T = a_{peak}) \quad (6)$$

여기서 S_T 는 T 시점의 표적 의심 신호이다. 상기 조건식의 의미는 다음과 같다. 표적은 해수면 상에서 정해진 물리적인 크기를 가진다. 이에 Peak 신호가 표적으로부터 반사된 신호라면, Peak 신호의 직전 혹은 직후 위치에서 수신되는 신호도 표적으로부터 반사되는 신호일 가능성이 크며, 표적으로부터 반사된 신호일 경우에 그 값이 잠망경 추정 기준치보다 크거나 같게 나타날 것이다. 즉 HRRP에 포함된 신호 세기 값 중 Peak 신호 세기와 인접한 신호 세기 중에서 1개 이상 2개 이하의 신호 세기 값이 잠망경 추정 기준치보다 크면 이를 잠망경으로 의심할 수 있다. 또한 Peak 신호와 인접하지 않은 곳에 잠망경 추정 기준치를 초과하는 값이 있다면 의심 대상에서 제거한다.

2. Setting the Suspicion Level

잠망경 의심 신호가 식별되었더라도 순간적으로 발생한 잡음에 의한 오 탐지의 가능성을 방지하기 위해, 최소 2초

간 축적된 의심 신호의 변화량으로 의심 등급을 부여한다. 의심 등급은 Table 1.과 같다.

Table 1. Suspicion Level

Suspicion Level	Severity
rank 1	Very high
rank 2	High
rank 3	Moderate
rank 4	Low
rank 5	Very low

잠망경 의심 등급을 부여하는 과정은 잠망경이 해수면 상으로 부상하는 시간을 이용하여 등급 판정 기준을 정하고, 등급 판정 기준과 표적의 1초간 변화량을 통해 의심 등급을 설정한다. 마지막으로 의심 신호 변화량을 축적하고 판정 기준과 축적된 변화량을 대비하여 이미 설정된 표적 의심 등급을 조정한다. 등급 판정 기준을 정하는 과정은 기준치와 실제값을 비교하는 과정을 거친다. 기준치인 잠망경 전체높이 대비 1초당 잠망경이 부상하는 비인 R_T 는 아래 관계식(7)과 같다.

$$R_T = \frac{1}{T_P} \quad (7)$$

여기서 T_P 는 잠망경이 최고 높이까지 부상하는데 소요되는 시간이다.

등급 판정 기준에 적용할 실제값은 레이더로부터 수신하는 HRRP 신호 세기값을 통해 계산하며 이는 관계식(8)과 같다.

$$X_T = \begin{cases} \frac{S_T}{S_T - S_{T-1}} & , \text{if } S_T > S_{T-1} \\ \frac{S_{T-1}}{S_{T-1} - S_T} & , \text{if } S_T < S_{T-1} \\ 0 & , \text{if } S_T = S_{T-1} \end{cases} \quad (8)$$

S_T 는 조건식(6)를 통해 식별된 T 시점의 표적 의심 신호이고, S_{t-1} 은 S_t 직전에 수신된 신호이다. 수신되는 실제 값인 S_t 와 S_{t-1} 를 사용하여 계산한 실제값 잠망경 부상 주기는 X_T 이다. 의심 등급을 결정하기 위해 마찬가지로 잠망경 전체높이 대비 1초당 잠망경이 부상하는 비의 실제값 X 는 아래 관계식(9)와 같다.

$$X = \frac{1}{X_T} \quad (9)$$

계산된 잠망경 전체높이 대비 1초당 잠망경이 부상하는 비의 실제값과 기준치 비교를 통해 Table 2.와 같이 구간에 따른 의심 등급을 설정한다.

Table 2. Suspicion Level Criteria

Name	Range	Suspicion Level
Segment1	$0 \leq X \leq R_T$	rank 2
Segment2	$R_T < X \leq 2R_T$	rank 4
Segment3	$2R_T < X$	unrank

잠망경 전체높이 대비 1초당 잠망경이 부상하는 비의 실제값인 X 가 기준치인 R_T 이하라면 rank 2를 부여하고, X 가 R_T 를 초과하고 $2R_T$ 이하라면 X 가 기준치보다 빠르다고 판단하여, 상대적으로 위협도가 낮은 rank 4를 부여한다. X 가 $2R_T$ 를 초과할 경우, 잠망경 부상 속도 기준에 부합하지 않으므로 의심 등급을 부여하지 않는다.

동일한 표적에 대한 HRRP 신호 세기 값의 유효한 변화량이 2초간 축적되면, Table 3.과 같이 의심 등급을 조정한다.

Table 3. Suspicion Level Adjustment

Combinations	Suspicion Level
Segment1 & Segment1	rank 1
(Segment1 & Segment2) or (Segment2 & Segment1)	rank 3
Segment2 & Segment2	rank 5

표적 의심 등급을 조정하는 과정은 rank 2으로 판정된 의심 신호의 다음 단위시간에 수신된 누적 의심 등급이 rank 2로 판정되면 rank 1로 조정, rank 2로 판정된 의심 신호의 누적 의심 등급이 rank 4로 판정되면 rank 3, rank 4로 판정된 의심 신호의 누적 의심 등급이 rank 2로 판정되면 rank 3, rank 4로 판정된 의심 신호의 누적 의심 등급이 rank 4이면 rank 5로 결정하며 이 외에는 의심 등급을 부여하지 않는다.

판정된 의심 등급에 따라 강조 수준을 달리하여 운용자에게 경고하며, 종속 추적이 필요한 표적 의심 신호에 대한 추적을 우선하도록 운용자에게 추적 임무를 부여할 수 있다. 추가적으로, 운용자가 설정한 수칙에 따라 특정 등급 이상의 의심 신호가 식별된다면 자동으로 추적을 진행하거나 교전을 수행할 수 있다.

IV. Test Results and Evaluation

제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 Fig. 8.과 같이 모의한 시뮬레이션 환경에서 실제 상황을 모사한 시나

리오를 구성하여 성능 검증을 진행하였다.



Fig. 8. Configuration of Test Bed

시험환경은 개체생성기 1대, 연동단 1대, 시뮬레이터 1대로 구성된다. 개체생성기는 모의로 표적을 생성하여 시뮬레이터에 전송하고, 시뮬레이터에서는 실제 센서 장비를 모사한 기능을 수행한다. 시뮬레이터는 연동단과 연결되어 있으며 연동단은 시뮬레이터에서 전송한 장비 상태나 원시 표적 정보를 처리한다. 잠망경 의심 신호 판정 수식을 검증하기 위해 실제 HRRP 수신 신호 값을 모의한 데이터 180개를 이용하여 비교시험을 진행하였다.

1. Improved periscope detection performance

운용자를 모의하기 위한 시험대상자는 국내 전투체계 개발 경험이 5년 이상인 전문가 중 무작위로 12명을 선정하였다.

Fig. 9.은 12명의 시험대상자가 각 15개씩의 모의 데이터를 판정한 잠망경 탐지 소요 시간별 성공률의 분포와 15개씩의 모의 데이터를 12회 판정한 잠망경 탐지 알고리즘의 탐지 소요 시간별 성공률의 분포를 보여준다.

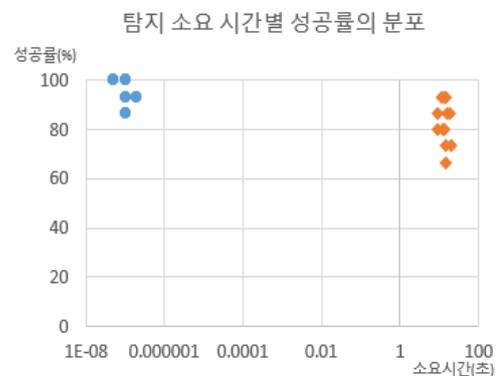


Fig. 9. Distribution of success rates based on detection time

시험대상 별 시험 결과의 평균값과 표준편차는 아래 Table 4., Table 5.와 같다.

Table 4. Detection time and Standard Deviation per subject

Subject	Detection Time	Standard Deviation
Algorithm	104.167 <i>ns</i>	47.6897 <i>ns</i>
Operator	13.8937 <i>s</i>	3.0096 <i>s</i>

Table 5. Success rate and Standard Deviation per subject

Subject	Success rate(%)	Standard Deviation (%)
Algorithm	95.56	4.9690
Operator	82.78	8.3703

이로써 잠망경 탐지 알고리즘은 운용자의 탐지 및 판단 성공률보다 12.78%p 더 높으며 소요 시간은 133.3791×10^6 배 빠른 것을 확인하였다. 추가로, 시험 결과를 통해 알고리즘이 운용자보다 항목별 표준편차가 적은 점도 확인할 수 있는데, 이는 알고리즘 잠망경 탐지의 안정성이 운용자보다 높다는 것을 의미한다.

다음 Table 6.은 시험 결과를 세분화하여, 잠망경이 아닌 데이터를 시험대상이 잠망경으로 오 탐지할 확률인 False-Positive와 잠망경인 데이터를 시험대상이 잠망경이 아니라고 오 탐지할 확률인 False-Negative의 관점에서 분석한 값이다.

Table 6. False-Positive and False-Negative

Subject	False Positive(%)	False Negative(%)
Algorithm	0.56	3.89
Operator	4.45	12.78

False-Positive가 낮을수록 교전 자원의 불필요한 낭비를 줄여 효율적으로 자원을 사용할 수 있다. 또한, False-Negative가 낮을수록 적시에 잠망경을 탐지하여 자함의 생존율을 증가시키는 요인이 된다. False-Positive와 False-Negative 역시 알고리즘이 운용자보다 각각 3.89%p, 8.89%p 적은 수치인 것을 확인하였다.

다음 Table 7.와 Table 8.은 잠망경 탐지 알고리즘의 성능평가를 포괄적으로 분석하기 위해 잠망경인 데이터를 시험대상이 잠망경으로 정 탐지할 확률인 True-Positive와 잠망경이 아닌 데이터를 시험대상이 아니라고 정 탐지할 확률인 True-Negative를 추가로 활용하여 네 가지의 주요 평가 지표인 정확도, 정밀도, 재현율, F1 점수를 계산한 자료이다.

Table 7. True-Positive and True-Negative

Subject	True Positive(%)	True Negative(%)
Algorithm	0.2778	3.8889
Operator	5.9125	13.7957

Table 8. Evaluation Metrics

Subject	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F1 Score (%)
Algorithm	95.56	98.70	91.57	95
Operator	82.78	87.69	71.25	78.62

네 가지 평가 지표 항목 모두 잠망경 탐지 알고리즘은 운용자보다 평균 15.12%p 높은 정확도, 정밀도, 재현율, F1 점수를 가지는 것으로 나타났다. 이는 여러 평가 지표를 통해 운용자보다 알고리즘이 높은 정확도와 성능, 안정성을 보인다는 것을 시사한다.

V. Conclusions

군사작전 중 적에 대한 함정의 교전 대응 시간은 함정의 전투력, 더 나아가 자함의 생존에 있어 매우 중요한 요소이다. 하지만 기존의 센서로부터 수신한 모든 Plot 정보를 운용자가 직접 확인하는 방식의 잠망경 식별은 교전 대응 시간을 지연시켜 자함의 생존율을 떨어뜨릴 수밖에 없었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 잠망경 탐지 및 알림까지의 전 과정을 자동화하는 방법론을 이용하여 잠수함을 신속하게 식별하고 어뢰 공격 대응 시간을 단축할 수 있는 기술을 제시하였다. 제안한 방법을 시험한 결과, 기존의 방법보다 비약적으로 빠른 탐지 시간과 높은 탐지 성공률을 보여 자함의 생존성과 전투력을 향상하고 교전 자원 사용의 효율성을 증가시키는 효과를 피하였다.

본 연구는 잠수함의 잠망경을 식별하는 데 최적화된 알고리즘을 제안하고 있으나, 알고리즘의 응용을 통하여 여러 가지의 선박, 드론, 무인 수상함, 부이 등 다양한 탐지체를 자동 분류하는 것으로 연구내용을 확장하고자 한다.

REFERENCES

[1] Yeong-Ho, Kim, "Commander of Naval Warfare, Discussing Submarines", Defence Agency for Technology and Quality,

- 2022.02.21, <https://www.dtaq-media.kr/content/기술로-품질로?id=20>
- [2] Chang-Mook Choi, "A Study on Non-acoustic Stealth Techniques of Submarine", Journal of The Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 16, No. 6, pp.1330-1334, Jun 2012. DOI: <https://doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.6.1330>
- [3] Min-Seop Sim, Ji-Hwan Hwang, Hyeon-Seob Jeong, "A Study for the Standardized Test of Detection Performance on Active SONAR System", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 22, No. 10 pp. 737-742, Oct 2021, DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.10.737>
- [4] Joontae Park, Tae-Hyung Kim, Sungho Park, June-Hyune Park, Yeon Duk Kang, "Periscope Detection Using Hough Transform by Selecting Parameters Based on Ship-Borne X-Band Multi-Function Radar", Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 31, No. 5, pp.478-486, May 2020. DOI: <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2020.31.5.478>
- [5] Ki-Chang Kwon, Ki-Pyo Kim, Ki-Tae Kwon, "A Study on the Improvement of Naval Combat Management System for the Defense of Drone", Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 28 No. 4, pp. 93-104, April 2023. DOI: <https://doi.org/10.9708/jksci.2023.28.04.093>
- [6] Sang-Min Kwon, Seung-Mo Jung, "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: <https://doi.org/10.9708/jksci.2018.23.11.009>
- [7] Chi-Sun Baek, Jin-Hyang 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 : <https://doi.org/10.9708/jksci.2021.26.01.147>
- [8] Seok-Hyun Hwang, Sang-Bin Cha, Se-Won Yoon, Joo-Ho Jung, Jin-Hwan Lim, Sang-Hong Park, "Estimating the Number of the Targets in Formation Flight Using Monostatic / Bistatic HRRP", Journal of Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 17, No. 3, pp.103-111, Mar 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2019.17.3.103>
- [9] Jong-Il Park, Sang-Won Jung, Kyung-Tae Kim, Jong-Hoon Chun, Jun-Woo Bae, "Analysis of Target Identification Performances Based on HRR Profiles against the Moving Targets", Journal of The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science, Vol. 20, No. 3, pp.289-295, Mar 2009. DOI: <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2009.20.3.289>
- [10] Cristina Carmona-Duarte, Jaime Calvo-Gallego, B. Pablo Dorta-Naranjo, Miguel Ángel Ferrer-Ballester, "Efficient Detection Algorithm for Non-Coherent High-Resolution Radar in Sea Clutter", International Carnahan Conference on Security Technology, Vol. xx, No. x, pp.421-426, Sep 2015. DOI: 10.1109/CCST.2015.7389721
- [11] Jae-Hoon Jung, Jae-Min Lee, Jae-Hyuk Youn, Hee-Sub Shin, "Study on MMTI Signal Processing Algorithm and Analysis of the Performance for Periscope Detection in Airborne Radar", Vol. 28, No. 5, pp. 661~669, Aug 2017, DOI:<http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2017.28.8.661>

Authors



Jin-Hyang Ahn received the B.S degree in Information and Communication Engineering from Yeungnam Univ., Korea, in 2016. She is currently a SW Engineer in Hanwha Systems Co., Ltd.

She is interested in Automation Algorithms and Standard Programming Model with Software Design Pattern.



Chi-Sun Baek received the B.S. and M.S. degrees in Computer and Information Engineering from INHA Univ., Korea, in 2012 and 2015, respectively. He is currently a SW Engineer in Hanwha Systems Co., Ltd.

He is specialized in high performance computing.