

Neyman-Pearson 표적 탐지기를 적용한 수중 무기체계 교전수준 모델 개발 연구

조현진 · 김완진[†] · 김상훈 · 양호철 · 이희광

Research on an Engagement Level Underwater Weapon System Model with Neyman-Pearson Detector

Hyunjin Cho · Wan-Jin Kim[†] · Sanghun Kim · Hocheol Yang · Hee Kwang Lee

ABSTRACT

This paper introduces the simulation concepts and technical approach of underwater weapon system performance analysis simulator, especially focused on probabilistic target detection concepts. We calculated the signal excess (SE) value using SONAR equation, then derived the probability density function(PDF) for target presence(H_1) or absence(H_0) cases, respectively. With the Neyman-Pearson detector criterion, we got the probability of detection(P_D) while satisfying the given probability of false alarm(P_{FA}). At every instance of simulation, target detection is decided in the probabilistic perspective. With the proposed detection implementation, we improved the model fidelity so that it could support the tactical decision during the operation.

Key words : Underwater weapon system, Engagement level M&S, MOE, Neyman-Pearson detector

요약

본 연구에서는 수중 무기체계의 효과도 예측을 위하여 개발한 교전 수준 시뮬레이터에 대해서 표적탐지 여부의 확률적 접근 방법을 적용한 개념 및 그 예시를 소개하고 있다. 소나 방정식에 의해서 산출되는 SE(Signal excess)을 이용하여 표적의 존재 여부(H_0 혹은 H_1)에 따른 확률 분포 함수(PDF, Probability density function)를 유도하였다. 이후 Neyman-Pearson 탐지기에 따라 P_{FA} (Probability of false alarm)를 만족하는 P_D (Probability of detection)을 구하고 탐지 여부를 확률적으로 판단하도록 설계하였다. 표적의 탐지와 관련된 현실적인 접근방법을 도입함으로써 시뮬레이터의 충실도를 높일 수 있었으며, 실험 결과는 전술 구상의 보조 정보로 활용할 수 있을 것이라 예상된다.

주요어 : 수중 무기체계, 교전수준 M&S, 요격률, 효과도 분석, Neyman-Pearson 탐지기

1. 서론

수중 무기체계의 교전 수준 모델에 있어서 표적탐지 능력의 실제적인 모사는 시뮬레이션 결과에 대한 신뢰성과 함께 시뮬레이션 자체의 효용성과 직결되는 중요한

부분이다. 한편 수중 탐지모델의 일반적인 방법은 능동 혹은 수동 모드 운용에 바탕을 둔 소나 방정식이 이용된다. 다양한 선행연구를 살펴보면 표적탐지 여부의 결정은 소나 방정식으로 계산된 일정 임계치 이상의 신호 세기 입력에 대해 표적 탐지가 이루어졌다고 판단한다는 사실을 확인할 수 있었다(Shin, 2007; Kim, 2014; Shin, 2016; Cho, 2018).

하지만 실제로 센서에 입력되는 시계열 혹은 주파수 변환 음향신호를 살펴보면 끊임없이 데이터가 변화하는 것을 확인할 수 있다. 더불어 소나 운용 상황에서는 같은 환경에서도 표적 탐지에 성공하거나 실패하기도 한다. 이

* 이 논문은 2018년도 해군사관학교 해양연구소 학술연구 과제 연구비의 지원으로 수행되었습니다.

Received: 1 February 2019, Revised: 4 May 2019,

Accepted: 28 May 2019

[†] Corresponding Author: Wan-jin Kim

E-mail: kimwj@add.re.kr

Agency for Defense Development, Jinhae, Korea

러한 사실들은 단순 수치 비교에 의한 이분법적 탐지 여부 결정 모델이 현상을 제대로 반영하지 못하고 있다는 추측을 하게 만든다.

탐지 이론은 주어진 문제 조건에 따라 각 상황에 적합한 특정한 해법이 존재한다(Kay, 1998). 최적 탐지기 설계에 영향을 미치는 요소에는 가설의 수(Binary or Multiple hypothesis), 신호와 잡음의 통계적 특징, 통계 파라미터 정보의 유무 등이 있다. 이러한 조건들의 조합에 따라 계층화된 다양한 수준의 문제로 구분할 수 있다. 혹은 사전 확률 정보(Prior probability information)의 사용 여부에 따라서 정보를 사용하지 않는 전통적인 접근 방법과 정보를 사용하는 베이지안 접근 방법으로도 분류할 수도 있다.

본 논문에서는 수중 무기체계의 표적 탐지 여부 판단에 있어 Neyman-Pearson 탐지기를 적용한 교전 수준 모델을 소개하고자 한다. 소나 방정식에 의해 도출되는 신호 대 잡음비(SNR)을 이용하여 표적의 존재 여부를 2진 분류(Simple binary hypothesis) 문제로 치환하여 접근하였다. 시나리오 전개에 따라 지속해서 변화하는 SNR과 이로 인한 표적의 존재 여부 확률 분포 함수(PDF, Probability density function)를 유도하여 확률적 측면에서 표적 탐지 여부를 모사하고 최종 무기체계 효과도(요격률)를 산출할 수 있었다. 본 논문의 2장에서는 시뮬레이션에서 가정한 시나리오 및 구성요소들을 간략하게 소개하였다. 더불어 시뮬레이터에 구현한 Neyman-Pearson 탐지기의 이론 및 SNR과 확률 분포 함수의 상관관계를 설명하였다. 3장에서는 교전 시뮬레이터에 적용한 사례를 제시하였다.

2. 시뮬레이션 시나리오 및 모델

2.1 시나리오 및 구성요소 모델

본 연구는 앞서 개발된 시간 순차적 접근 기반(sequential approach)의 시뮬레이터 모델을 기반으로 한다(Cho, 2018; Kim, J.H. 등, 2018). 시뮬레이션은 수중 무기체계(선유도어뢰)가 수상함 표적을 공격하는 상황을 가정하였고, 수상함은 어뢰 발견 시 회피 기동 및 기만기를 이용하여 대어뢰 회피 전술을 수행하게 된다. 선유도어뢰는 시나리오 진행 중 조건에 따라 3가지 상태(최초 탐색, 표적 접촉 및 공격, 표적 소실 시 재탐색)를 반복한다. 표적 탐색을 위한 최초 침로는 충돌 삼각형(Collision triangle, Figure 1) 형성에 필요한 공격 리드각(θ) 계산 결과에 따른다.

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{D^2 + (V_M t)^2 - (V_T t)^2}{2DV_M t} \right) \quad (1)$$

여기서 D 는 어뢰와 표적 사이의 거리이고, V_M 과 V_T 는 각각 어뢰와 표적의 이동속도이다. t 는 최초위치에서 충돌이 일어나기까지 걸리는 시간이다.

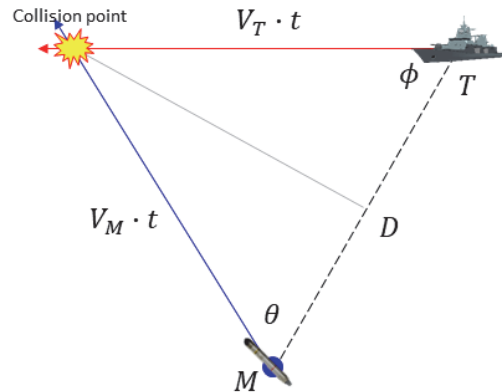


Fig. 1. Collision triangle (Cho 2018)

이후 어뢰 소나(TOSO, Torpedo SONAR)가 표적을 탐지하게 되면, 증속 후 비례 유도 항법(PNG, Proportional Navigation Guidance)에 의해 표적을 공격한다. 유도과정 중 표적을 소실하는 경우 표적과의 거리에 따라 사형 탐색 또는 원형탐색을 수행한다.

반면 표적 수상함은 직선 기동 - 어뢰 발견 - 어뢰 대응전술 수행의 상태를 차례대로 진행한다. 함정에 탑재된 센서에 어뢰 위협이 감지되면 사전에 설정된 방위(Ku, 2009)로 회피 기동을 수행하고, 부유식 기만기를 투하한다. 기만기의 소음 방사패턴은 무지향성(Omni-directional) 패턴을 적용하였다. 반면, 함정의 경우 프로펠러가 위치한 함미에서 기준 소음을 측정하고 함수로 갈수록 수치가 줄어드는 Cardioid 패턴을 적용하였다(Pak, 2008).

본 시뮬레이션 모델에서는 수상함이 수행하는 2종류의 대어뢰 회피 전술의 효과를 비교할 수 있도록 회피기동 여부 및 기만기 사용 여부에 따라 4가지 조합을 선택하여 실험 수행이 가능하다.

2.2 Neyman-Pearson 탐지기에 의한 표적 탐지

TOSO에 의한 표적 탐지 여부는 Equation (2)의 소나 방정식에 의해 결정되는 SE(Signal excess)을 이용하여 확률적으로 계산된다.

$$SE = SL - TL - NL + DI - DT \quad (2)$$

Equation (2)을 구성하는 각 항목은 SL(Source Level), TL(Transmission Loss), NL(Noise Level), DI(Directivity Index), DT(Detection Threshold)이며, 세부적인 설명은 참고자료(Shin, 2016; Urick, 1983)와 같다. SE는 신호 대 잡음비(SNR)로서 앞선 식에서 확인할 수 있는 바와 같이 소나의 성능 및 주변 환경 인자에 의해 결정된다.

표적의 탐지 여부를 결정하는 방법은 신호처리 연구 분야의 주요한 연구주제 중 하나이며 잘 정리된 이론적 배경을 다양한 참고자료에서 확인할 수 있다(Kay, 1998; Van Trees, 2004; Scharf, 1991). 센서에서 수집하는 데이터(신호와 잡음)의 수학적 모델 및 탐지를 판단하는 기준(criterion)에 따라 다양한 탐지기 설계가 가능하며, 특히 문제를 기술하는 모델 조건 혹은 실제 해결하여야 하는 공학 문제에 따라 계층적인 형태로 구분을 할 수도 있다(Table 1. 참고).

Table 1. Hierarchy of detection problems (Kay, 1998) and research model is corresponding to asterisk(*)

Signal \ Noise	Gaussian	Gaussian	Non-Gaussian	Non-Gaussian
	Known PDF	Unknown PDF	Known PDF	Unknown PDF
Deterministic Known	*			
Deterministic Unknown				
Random Known PDF				
Random Unknown PDF				

하지만, 조건 및 기준에 따른 다양한 접근법에도 불구하고 탐지기의 큰 분류는 Neyman-Pearson Theorem에 의한 방법과 Bayes risk을 최소화하는 Bayesian 방법으로 구분된다. 이 두 가지 분류의 큰 차이점은 표적 존재 여부(Detection 분야에서 사용되는 보다 일반적인 용어는 Hypotheses이다)에 대한 사전 확률 정보(Prior probability) 사용 여부에 있다. 일반적으로 소나 및 레이더 시스템의 표적 탐지 문제는 Neyman-Pearson 방법을 활용하고, 통신 및 패턴 인식 시스템에서의 탐지 문제는 Bayesian 방법이 활용된다(Kay, 1998). 이번 교전 수준 모델 개발에 있어서도 Simple Binary Neyman-Pearson 탐지기를 활용하였다. 이는 이번 교전 수준 모델에서 가정된 상황이 수동소나 시스템을 사용하는 상황이고(Neilsen, 1991),

표적 존재 여부에 대한 합리적인 사전 확률 정보를 정의하기가 어렵기 때문이다(운용자가 설정한 시나리오에 종속됨). 더불어 교전 수준 모델에서 잘못된 탐지 선언에 대한 costs(혹은 penalties)를 도입하는 것은 작전 운용의 측면에서 고려될 요소라 본 연구의 범위를 벗어나는 것이라 판단하였다.

신호 및 잡음 성분에 대한 PDF 정보를 이용하는 Neyman-Pearson 탐지기는 주어진 P_{FA}(Probability of false alarm)에 대해 최대의 P_D(Probability of detection)을 찾는 문제이다. 본 최적화 문제는 라그랑지안 승수법(Lagrange multiplier)을 이용하여 그 해법이 증명되었으며(Kay, 1998), 아래 식과 같은 우도 테스트(Likelihood test)을 통하여 판단을 내린다.

$$\lambda_T = \frac{P(y;H_1)}{P(y;H_0)} \geq \beta \quad (3)$$

where

λ_T is test statistic

β is threshold

y is observation (single or set of data)

$P(y;H_1)$ is PDF of y under H_1 (target present)

$P(y;H_0)$ is PDF of y under H_0 (target absent)

Decision rule is

Choose H_1 : When $\lambda_T \geq \beta$

Choose H_0 : Otherwise

한편 위와 같은 Neyman-Pearson 탐지기 원리를 소나 신호처리 영역에 적용하기 위해서 다음의 몇 가지 사항이 고려되었다. 우선, 소나 수신단은 전압 단위의 입력 신호를 에너지 단위로 바꾸어 탐지 여부를 판별하는 ‘에너지 탐지기(Energy detector)’라는 점이다. Figure 2는 기본적인 에너지 탐지기 요소들을 나타낸 블록 다이어그램이다.

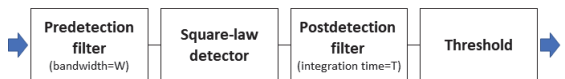


Fig. 2. Basic components of an energy detection system (Urlick, 1983)

다음으로 표적이 존재하는 상황(H_1)과 존재하지 않는 상황(H_0)의 에너지 확률 분포는 모두 Gaussian 분포를 따

른다고 가정하였다. 일반적으로 잡음 신호를 WGN(White Gaussian Noise)으로 가정한다면, 에너지 탐지기의 제곱 연산(square-law detector)에 의하여 잡음의 에너지 분포는 Rayleigh 분포를 따르게 된다(Kang, 2008). 하지만, 중심 극한 정리(Central-limit theorem)에 따라 충분히 많은 데이터에 대한 분포는 Gaussian 분포로 표현할 수 있다. 즉,

$$\begin{aligned}
 H_0: y &\sim N(\mu_n, \sigma^2) \\
 H_1: y &\sim N(\mu_n + P_s, \sigma^2)
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

where

$N(\mu, \sigma^2)$ is Gaussian distribution with mean μ and variance σ^2

μ_n is mean value of noise energy and P_s is constant signal energy, respectively.

같은 분산 값을 가지며 평균이 다른 두 개의 Gaussian 분포에서 detection index, d^2 는 다음과 같이 정의된다(Urick, 1983; Kay 1998).

$$d^2 = \frac{[(\mu_n + P_s) - \mu_n]^2}{\sigma^2} = \frac{P_s^2}{\sigma^2}
 \tag{5}$$

즉, detection index는 SNR과 증가임을 알 수 있으며 SNR에 따라서 Gaussian 분포의 떨어진 거리가 조정됨을 알 수 있다. 에너지 분포 모델을 보다 간략하게 나타내기 위하여 $\sigma^2 = 1$ 로 가정하게 되면, d 혹은 \sqrt{SNR} 에 의해서 두 분포의 거리를 정확하게 서술할 수 있게 된다. 즉, 소나 방정식을 통해 구한 SE를 이용하여 H_0 과 H_1 에 대한 Gaussian 분포를 표현할 수 있게 된 것이다.

시나리오 전개에 따라 어뢰와 표적의 상대 거리가 지속해서 변화하는 상황은 SE의 변화를 가져오게 된다. 이때 SONAR 운용자가 설정한 P_{FA} 에 대해 P_D 를 구함으로써 표적 탐지 여부를 확률적으로 결정할 수 있는 것이다.

2.3 정지 소음원에 대한 PD 시뮬레이션 예

앞선 절에서 설명한 Neyman-Pearson 탐지기를 두 가지 방사 패턴을 가지는 정지한 소음원에 각각 적용하여 거리에 따른 탐지확률(P_D)을 구해 보았다. 이때 어뢰 속도에 따른 자체소음 생성과 이로 인한 NL 증가 및 TOSO에서의 SE 상쇄 효과를 고려하였다. 수중에서의 자체소음(Self Noise)은 이동하는 물체의 형상 및 재질, 속도,

주파수 등 다양한 변수에 의해 영향을 받는다. 따라서 이러한 변수들이 종합적으로 반영된 특징식으로 자체소음을 표현하는 데에는 어려움이 존재한다. 이번 연구에서는 경험식을 바탕으로 어뢰 속도와 자체 소음의 상관관계를 정의하였다(Hong, 2017). 정지 소음원은 전방위 균등방사(Omni-directional) 및 비균등 방사(Cardiod) 패턴을 가정하였고, SL은 OO dB로 설정하였다. SE는 소음원 기준 500~5000 미터 거리 전방위에서 측정하여 Neyman-Pearson 탐지기에 의한 탐지확률을 계산하였다.

우선 소음원만 존재하는 상황에서 탐지확률 분포는 Figure 3와 같다(정지 상태 어뢰($V_M = 0$ KTS)의 자체소음은 0이고 이에 따른 NL 증가분이 없는 상황에서 $P_{FA} = 0.01\%$ ($=10^{-4}$)로 설정하였을 때의 탐지확률 분포와 같다). Figure 3의 오른쪽은 Cardioid 방사 패턴에 의한 탐지확률 분포이며 x- 축 방향을 함미로 가정하였다.

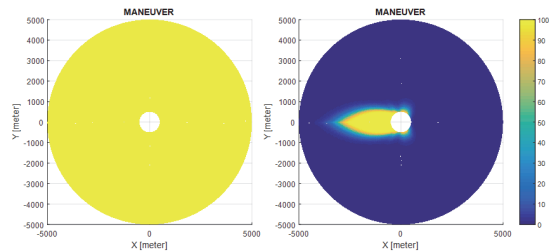


Fig. 3. P_D of two types of Sound Source: Omni-directional(Left) and Cardioid(Right) ($V_M = 0$ KTS and $P_{FA}=0.01\%$)

Figure 4는 $V_M = 35$ KTS 로 증가함에 따라 변화된 탐지확률 분포이다. NL 증가분은 SE의 감소를 동반하고 이에 따라 탐지확률, P_D 도 감소한 것을 확인할 수 있다.

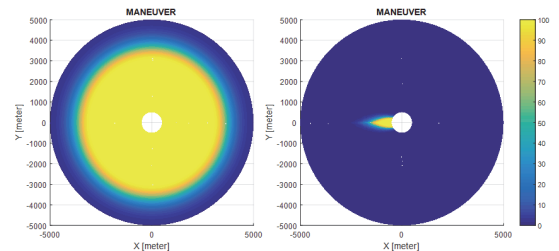


Fig. 4. P_D of two types of Sound Source: Omni-directional(Left) and Cardioid(Right) ($V_M = 35$ KTS and $P_{FA}=0.01\%$)

마지막으로 Figure 5에서는 V_M 은 35KTS로 유지한 상황에서 $P_{FA} = 1\%$ 로 증가한 경우 탐지확률을 나타내었

다. 오탐지, P_{FA} 허용률을 증가함에 따라 자연스럽게 탐지율도 증가된 사실을 확인할 수 있다.

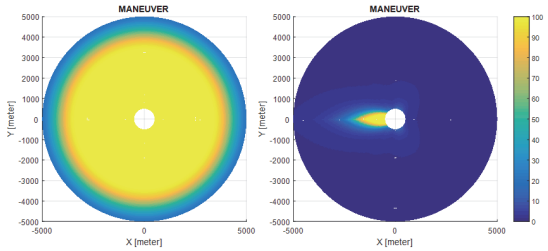


Fig. 5. P_D of two types of Sound Source: Omni-directional(Left) and Cardioid(Right) ($V_M = 35KTS$ and $P_{FA}=1\%$)

3. 분석사례 (교전 시뮬레이터 적용 예)

앞서 설명한 시나리오에서 어뢰에 의한 수상함 공격 성공률을 확인하기 위하여 수상함 초기 위치(0,0)를 기준으로 360도 전방위를 100개로 균일 등분(3.6도 간격)하였다. 각 방위에서 최초 어뢰 공격이 발생한다고 가정하고 반복실험(Monte Carlo simulation)을 수행하였다. 매 반복실험은 교전 모델 설계에서 의도적으로 고려된 오차(어뢰의 공격 리드각 계산 오차, 수상함의 어뢰 접촉 방위 오차 등)로 인하여 서로 다른 상황이 전개된다(Cho, 2018). 어뢰는 매초 변화하는 SNR을 이용하여 표적 탐지 여부를 확률적으로 판단한다. 어뢰가 표적 00 미터 반경에 접근하면 공격이 성공한 것으로 판단하였으며, 총 수행 횟수에 대한 성공 횟수 비율을 평균 공격 성공률로 정의하였다.

제안한 모델에 대한 실험은 매 방위에 대해 반복실험 500회, $P_{FA}=0.01\%$ 상황에서 수행되었다. 실험 결과 표적 탐지의 확률적 접근으로 인하여 기존 교전 모델(특정 SE 이상의 표적에 대해 탐지 확정)과 차이가 나는 결과를 확인할 수 있었다. 특히 시뮬레이터에서 선택한 대어뢰 전술 조합(총 4가지 상황)에 따라 요격을 변화의 양상이 다소 차이를 확인할 수 있었다. 즉, 대어뢰 전술을 전혀 사용하지 않으면(회피기동 미실시과 기만기 미사용) 전반적인 공격 성공률 패턴을 유지한 상황에서 그 수치만 감소하는 것을 확인한 반면(Figure 6), 대어뢰 전술을 모두 사용하는 경우에는 결과에 큰 변화가 관찰되지 않았다(Figure 7).

반면 두 가지 대어뢰 전술 중 한 가지만 사용하는 경우에는 요격 성공률 패턴에 큰 변화가 있었다(Figure 8).

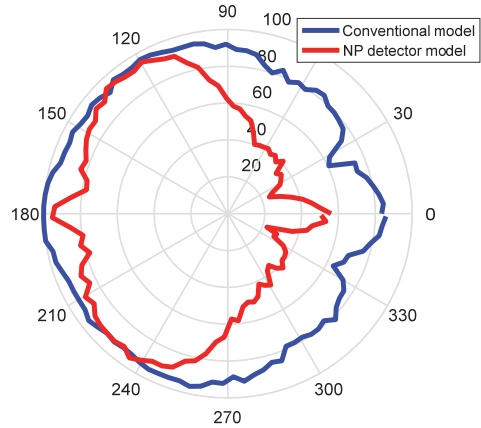


Fig. 6. Torpedo performance analysis (without evasive maneuver and decoy case)

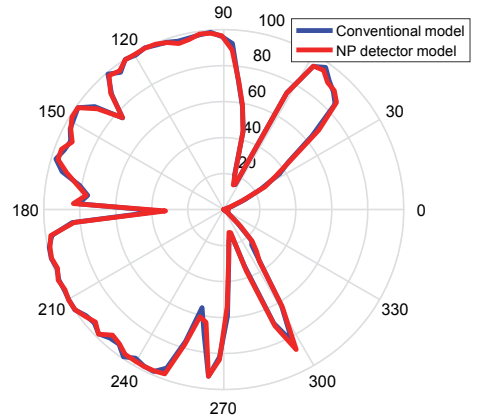


Fig. 7. Torpedo performance analysis (with evasive maneuver and decoy case)

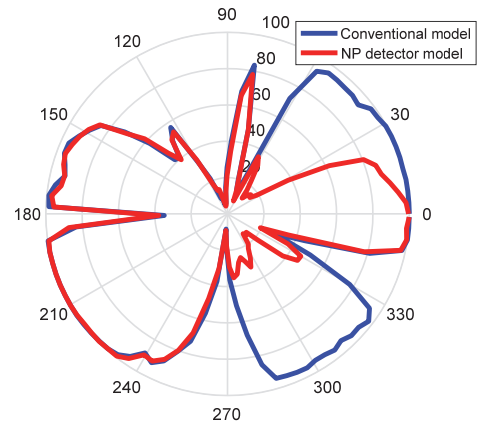


Fig. 8. Torpedo performance analysis (use only one anti-torpedo method)

본 논문에서는 수중 무기체계 교전 모델 개발에 도입된 표적 탐지 여부의 확률적 접근과 관련하여 방법론적인 측면에 중점을 맞추어 소개하였다. 특정 방위에서 나타나는 급격한 요격을 변화와 그 원인에 대한 분석은 추후 연구에서 진행 예정이다.

4. 결론 및 향후 연구계획

본 논문에서는 수중 무기체계 교전 수준 모델에 적용된 표적탐지 결정의 확률적 접근에 대한 방법을 소개하였다. 소나 방정식에 의한 SE를 이용하여 표적이 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우의 확률 분포 함수를 도출하였으며, Neyman-Pearson 탐지기를 이용하여 표적 탐지 여부를 확률적으로 판별하였다. 기존 연구에 적용되지 않았던 표적탐지 확률 모델을 적용함으로써 시뮬레이션의 현실 충실도를 높일 수 있었다. 특히 Neyman-Pearson 탐지기를 이용할 때 고려하여야 하는 P_{FA} 는 전장 환경 및 전술적 중요도에 따라 가변적으로 설정할 수 있는 변수이다. 이번에 개발한 모델은 어뢰 전술 구상 시 보조 정보로 활용 가능할 것이라 기대한다. 추후 연구에서는 특정 방위에서 나타나는 요격을 증감의 원인에 대해서 분석할 예정이다.

References

Cho, Hyunjin (2018). "Engagement Level Simulator Development for Wire-Guided Torpedo Performance Analysis". *Journal of the Korea Society for Simulation*, 27(1), 33-38.
 (조현진. (2018) "선유도어뢰 전술 효과도 분석을 위한 교전수준 모델 개발 연구." 한국시뮬레이션학회논문지 27.1, 33-38)

Kang, Eyung W. Radar system analysis, design, and simulation. Artech House, 2008.

Kay, Steven M. "Fundamentals of statistical signal processing, Vol. II: Detection Theory." Signal Processing. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall (1998).

Kim, J. H., Seo, K. M., Lee, T. E., and Choi, B. W. (2018). "Achieving New Insights into Combat Engagement Analysis via Simulation-Based Sequential Experimentation" *Military Operations Research*, 23(4), 51-80.

Kim, Taekyoo (2014) "System Operational Performance Analysis for Wire-Guided Torpedo" *Journal of the Korea Society for Simulation*, 23(2), 7-15.
 (김태규. "선유도어뢰 체계운용성능분석 기법." 한국시뮬레이션학회논문지 23.2 (2014): 7-15.)

Ku, B., Y. Lee, J. Park, S. Chung, W. Hong, W. Kim, M. Lim and H. Ko, "Robust ship wake search method in the target evasion environment," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol.12, No.1, 2009, 8-17.
 (구분화, 이영현, 박정민, 정석문, 홍우영, 김우식, 임묘택, 고한석, "회피 기동에 강인한 수상 항적 탐색방법", 한국군사과학기술학회지, Vol.12, No.1,2009, 8-17)

Hong, W.Y., et al (2017), "A Study on the Effectiveness analysis for a small underwater moving object", *Report of Agency for Defence Development*, ADDR-417-162346, 2017

Nielsen, Richard O. Sonar signal processing. Artech House, Inc., 1991.

Pak, J.M. (2008) "Effectiveness Analysis of an Acoustic Homing Torpedo", *Master Thesis, Korea University* (박정민. "음향 유도 어뢰의 효과도 분석." 석사학위논문, 고려대학교 (2008))

Scharf, Louis L., and Cédric Demeure. Statistical signal processing: detection, estimation, and time series analysis. Vol. 63. Reading, MA: Addison-Wesley, 1991.

Shin, Ji-hwan. (2007). "On the Development of Authoritative Representations of Torpedo Systems for Engagement Level Simulation". *Journal of the Korea Society for Simulation*, 16(3), 19-28.
 (신지환. (2007). 교전수준 어뢰체계 표준모델 개발 방안 연구. 한국시뮬레이션학회논문지, 16(3), 19-28.)

Shin, MyoungIn, H. Cho, J. Lee, J. Lim, S. Lee, W. Kim, W. Kim, W. Hong. (2016). "Effectiveness Analysis for Survival Probability of a Surface Warship Considering Static and Mobile Decoys" *Journal of the Korea Society for Simulation*, 25(3), 53-63.
 (신명인, 조현진, 이진호, 임준석, 이석진, 김완진, & 홍우영. (2016). 부유식 및 자항식 기만기의 혼합 운용을 고려한 수상함의 생존율에 대한 효과도 분석.

한국시물레이션학회 논문지, 25 (3), 53-63.)
Urlick, R.J., Principles of underwater sound 3rd,
MacGraw-Hill, 1983

Van Trees, Harry L. Detection, estimation, and
modulation theory, part I: detection, estimation, and
linear modulation theory. John Wiley & Sons, 2004.



조 현 진 (hijcho@webmail.korea.ac.kr)

2005 해군사관학교 정보통신공학과 학사
2009 Washington University in Saint Louis 전자시스템공학 석사
2016 고려대학교 전기전자전파공학과 박사
2016~ 현재 해군사관학교 전기전자공학과 조교수

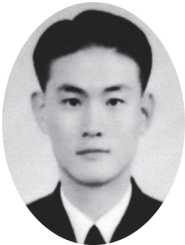
관심분야 : 수중음향신호처리, 패턴인식, 무기체계 효과도 분석



김 완 진 (kimwj@add.re.kr)

2005 부산대학교 전자전기통신공학부 학사
2007 부산대학교 전자공학과 석사
2011 부산대학교 전자공학과 박사
2011~ 국방과학연구소 선임연구원

관심분야 : 적응신호처리, 레이더 및 소나 시스템, 디지털 통신



김 상 훈 (gonavy59@hanmail.net)

2005 해군사관학교 국제관계학과 학사
2008 美 병과교 대잠전 과정
2013 美 병과교 이지스 전투체계 과정
2018 해군 세종대왕함 작전관
2019~ 현재 해군본부 정책실 대외정책과

관심분야 : 해군전술, 대잠전



양 호 철 (asteria0517@hanmail.net)

2005 해군사관학교 해양학과 학사
2008 해군 충주함 작전관
2016 해군 양만춘함 전투체계관
2018 해군 경북함 부장
2019~ 현재 해군본부 정보작전참모부 부대계획과

관심분야 : 해군전술, 전략



이 희 광 (navy3636@korea.ac.kr)

2005 해군사관학교 해양학과 학사
2009 국방대학교 국방관리학 석사
2012 해군 9잠수함전단 장보고함 무장관
2016 해군 잠수함사령부 손원일함 무장관
2018~ 현재 해군본부 인사참모부 근무행정과

관심분야 : 해군전술, 잠수함전술