

DPSO 알고리즘을 적용한 수동탐지소나 배치 연구

강종구[†]

A Study on an Arrangement of Passive Sonars by using DPSO Algorithm

Jong-Gu Kang[†]

ABSTRACT

An arrangement of passive sonars is considered to be a fixed underwater surveillance system for detecting an anti-submarine consistently. An effectiveness score for optimizing the arrangement of passive sonars is defined in a function of the probability of detection and localization. These two features contain various probabilistic variations including seasons, sea states, depths of water, etc. Due to this reason, the effectiveness scores show probabilistic characteristics from the input of the arrangement of passive sonars. This paper defines the optimization problem having the results of probabilistic characteristics from various parameters of input conditions. Also, we suggest a simulation-based process of deciding the optimized arrangement of passive sonars using DPSO(Discrete binary version of PSO) method.

Key words : Arrangement of passive sonar, Probabilistic variation, Optimization problem, Simulation-based, DPSO (Discrete binary version of PSO)

요약

은밀하게 침투하여 아군의 핵심자산으로 접근하는 표적 잠수함을 상시 감시하기 위하여 수중 해저면 위치에 최적의 고정형 수동탐지소나를 배치하는 것을 고려할 수 있다. 수동탐지소나 배치 최적화를 위한 효과도 지수는 넓은 탐지영역과 위치추정가능성의 함수로 적용할 수 있는데 계절적인 요인, 해상상태, 표적 잠수함의 침투심도 등의 다양한 확률적 변이를 포함하고 있어서 효과도지수가 배치의 입력에 대하여 확률적으로 나타나는 특성을 갖는다. 본 논문에서는 다양한 파라메타의 입력조건에 대하여 확률적인 출력을 갖는 수동탐지소나의 배치에 대한 최적화 문제를 정의하였으며, DPSO(Discrete binary version of PSO) 방법을 사용하여 최적 배치 안을 도출하기 위한 모의기반의 절차를 제시하고 고찰하였다.

주요어 : 수동탐지소나 배치, 확률적 변이, 최적화 문제, 모의기반, DPSO (Discrete binary version of PSO)

1. 서론

1.1 연구배경

잠수함은 수중으로 은밀하게 침투하여 적의 핵심자산을 타격할 수 있는 무기체제로, 현대의 전장에서 주요한 고위험 비대칭 전력(Asymmetric Force)으로 분류된다. 잠수함의 침투에 대응하기 위하여 수상함, 항공기, 잠수

함 등의 다양한 탐지체계가 존재하며 지속적으로 개발되고 있다. 하지만 이와 같은 탐지체계는 지속적인 운용을 위한 비용적인 측면, 적 잠수함 공격으로부터의 피격 위험성으로 인해 한계점을 가진다. 특히 고정된 위치에 존재하는 아군 핵심자산을 상시보호하기에는 취약하다. 따라서 비용적인 측면, 운용의 용이성, 상시 운용가능성, 넓은 감시영역을 가지는 수중감시체계가 필요하다. 본 연구에서는 해저에 고정 설치되어 수중으로 침투하는 표적을 탐지하기 위하여 다수의 수동탐지소나를 이용한 배치 안을 제안한다.

수동탐지소나 배치는 여러 개의 소나들이 형태를 이루고 있는 것을 말한다. 수동탐지소나는 수중에서 전파되는

Received: 30 November 2016, **Revised:** 7 March 2017,
Accepted: 7 March 2017

† Corresponding Author: Jong-Gu Kang
E-mail: kangjg@add.re.kr
Agency for Defense Development

음파의 특성을 이용하여 표적정보(방위, 거리 등)를 획득하는 수동 소나체계(Passive Sound Navigation and Ranging System)를 이용한다. 수동탐지소나 배치를 이용한 잠수함 탐지방법은 수상함 및 잠수함의 소나체계를 이용한 탐지방법, 대잠헬기의 디핑소나를 이용한 탐지방법과 비교하여 볼 때 운용적인 측면과 위험성에 있어서 장점을 가진다.

제안된 수동탐지소나 배치 안은 해저에 고정되므로 한번 설치되면 감시상황 변화에 따른 위치를 수정하여 재설치하기에는 어려움이 따른다. 따라서 초기에 수동탐지소나를 설치할 때 여러 가지 상황을 반영한 배치 결정이 중요하다. 수동탐지소나 배치는 크게 소나의 장비성능, 수동탐지소나의 매설위치 및 매설방위, 감시구역에 의해 결정된다. 3가지 중요요소들이 서로 상호 복합적으로 작용하여 계산복잡도(Computational Complexity)를 야기시킨다. 최적의 수동탐지소나 배치를 찾기 위해 많은 계산과정(시간)과 3가지 중요요소에 포함되어 있는 탐색 공간 내에서 수많은 변수(공간)를 분석해야하는 어려움을 가진다.

본 논문에서는 높은 성능을 가지는 최적의 수동탐지소나 배치를 빠른 시간 내에 도출하기 위해 최적화 기법 중 하나인 DPSO(Discrete binary version of Particle Swarm Optimization) 알고리즘을 사용한다. 최적화 기법은 최소한의 시간 안에 복잡하고 대규모의 문제에 대하여 해에 근사한 답을 찾고자 할 때 사용한다^[1].

1.2 관련 연구 및 기여도

평가함수의 탐색 알고리즘 효과도 비교 분석을 수행한 확률적 시뮬레이션의 최적화 기법연구(2013, 김선빈), 이산적인 문제를 해결하기 위한 연구(2013, 임동순)를 통해 DPSO 알고리즘이 타 탐색 알고리즘에 비하여 최소한의 시간에 해의 근사한 위치로 찾아가는 것을 확인하였다^[2,3].

본 연구로 도출되는 수동탐지소나 배치 분석을 통해 수중감시체계에 기여한다. 또한, DPSO 알고리즘을 적용하여 계산복잡도가 높은 대규모 군사시뮬레이션 문제에서 최소한의 노력으로 해의 근사한 답을 찾을 수 있는 가능성을 보여준다.

1.3 논문의 구성

논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 표적 잠수함 탐지 및 위치를 추정하기 위한 분석모델 설계과정을 기술하며, 제 3장에서는 높은 탐지성능을 가지는 수동탐지소나 배치를 찾기 위한 방법으로 사용된 최적화 알고

리즘을 서술한다. 제 4장에는 2장과 3장에서 언급된 소나 및 최적화 알고리즘을 사용하여 구성된 시뮬레이션 프레임워크를 소개한다. 5장에서는 시뮬레이션 수행 및 결과를 분석하며, 마지막으로 제 6장에서는 결론을 맺는다.

2. 분석 모델 설계

2.1 탐지 및 방위 추정 모델

소나 모델은 a개의 센서 채널들이 수평으로 나란히 배열되어 있는 수동 선 배열 소나를 모델링한다. 일반적인 대표 수동소나인 원통형 배열, 판 배열에 비하여 지향성은 낮지만 빔 조향각 조절을 통하여 전 방위에서 표적 잠수함을 탐지가능하며, 높은 배열이득으로 인하여 원거리에서도 표적 잠수함 탐지가 가능하다^[4]. 수동 선 배열 소나의 탐지 결정은 아래의 수동소나 방정식 Eq. (1)을 사용한다^[5].

$$SE = SL - TL - (NL - DI) - DT \quad (1)$$

여기서, SE(Signal Excess)는 신호초과이득으로 수동탐지소나에서의 신호 대 잡음비(SNR, Signal-to-Noise Ratio)이다. SL(Source Level)은 표적방사소음, TL(Transmission Loss)은 음파전달손실, NL(Noise Level)은 배경소음준위, DI(Directivity Index)는 수신 지향지수, DT(Detection Threshold)는 탐지문턱 준위를 말한다. 신호초과이득(SE) 값이 '0'보다 높은 경우 표준편차에 관계없이 50%이상의 탐지확률을 가지므로 표적 잠수함이 탐지가 되었다고 판단한다^[5].

선 배열 소나모델에서 수동소나 방정식에 영향을 미치는 수신 지향지수(DI)와 탐지문턱 준위(DT)는 Eq. (2)를 통해 계산한다^[5,6].

$$DI = 10\log(a)$$

$$DT = 5\log_{10}(d) + 5\log_{10}(w) - 5\log_{10}(t) \quad (2)$$

수신 지향지수(DI)는 소나의 채널 수(a)로 탐지문턱 준위(DT)는 탐지지수(d, Detection index), 주파수 대역폭(w, Band width), 신호적분시간(t, Integration time), 을 사용하여 계산한다. 표적방사소음(SL), 음파전달손실(TL), 배경소음 준위(NL) 값은 국방과학연구소에서 개발한 수상 및 수중 무기체계 합성전장 환경모의시스템(SBESS, Synthetic Battle Environment Simulation System)에서 제공하는 값을 사용한다^[7].

선 배열 소나는 배열 중심점을 기준으로 좌, 우 대칭적인 빔을 형성하기 때문에 탐지된 표적 위치에 대해 모호성을 가진다(Fig. 1 참조)⁶⁾. 따라서 표적의 위치를 파악하기 위해서는 2개 이상의 선 배열 소나가 필요하며, 형성된 빔 내부에 위치해야 한다.

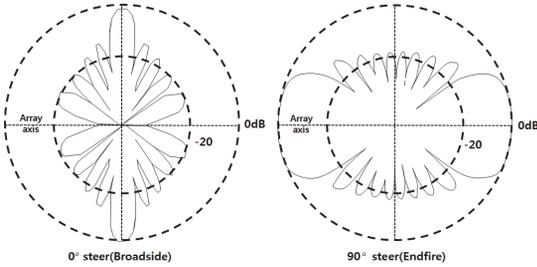


Fig. 1. The beam pattern of a line array⁵⁾

또한, 선 배열 소나는 빔 조향 방위에 따라 빔 형상이 달리 나타난다. 조향방위가 90°(Endfire)일 경우 0°(Broadside)에 비하여 빔 폭이 넓게 형성된다. 넓게 형성된 빔 영역 내에 표적이 위치하게 되면 표적의 정확한 방위를 파악하기 어렵다.

이와 같이 표적과 선 배열 소나간의 방위로 인해 방위각 오차를 발생하게 된다. 일반적으로 Eq. (3)을 통해 선 배열 소나의 방위각 오차를 산출한다⁸⁾.

$$\Delta\theta = 0.8864 \frac{\lambda}{L \cdot \cos\alpha} \text{ [rad]}$$

$$\sigma_{\theta_0} = \frac{\Delta\theta}{\sqrt{2} (SNR)^{1/2}} \quad (3)$$

여기서, $\Delta\theta$ 는 선 배열 소나의 빔 폭을 의미하며, L 은 선 배열 소나의 길이, λ 는 수중에서 임의의 주파수를 가지는 음파의 한 주기 동안의 길이, α 는 선 배열 소나 기준으로 측정된 표적 잠수함의 방위, σ_{θ_0} 는 방위각 오차를 나타낸다.

2.2 효과도 판정

표적 잠수함이 임의의 위치(T , Real Target position)에 있을 때의 효과도를 점 효과도(PE(T), Point Effectiveness at T)로 하며, 표적탐지 효과도(PD(T), Probability Detection)와 표적위치추정 효과도(PL(T), Probability Localization)의 합으로 다음과 같은 Eq. (4)의 수식으로 정의된다.

$$PE(T) = PD(T) + PL(T) \quad (4)$$

표적탐지 효과도(PD(T))는 아래의 Eq. (5)와 같다. 여기서, $T=(x, y)$ 는 표적의 위치, s 는 소나의 개수, PD(T)는 i 번째 소나가 T 위치의 표적을 탐지할 확률에 결정된다. PD(T)는 Eq. (1)에 의해서 결정된다. 표적의 위치를 탐지한 소나가 1개 이상이면 해당 위치에서의 PD(T)는 '1', 그렇지 않으면 '0'으로 판정한다.

$$PD(T) = 1 - \prod_{i=1}^s (1 - PD_i(T)) \quad (5)$$

표적위치추정 효과도(PL(T))는 아래의 Eq. (6)와 같다. 여기서, r 은 실험횟수, C 는 사용자가 지정한 값, D_j 는 실제표적($T(x, y)$)과 추정표적($\hat{T}(\hat{x}, \hat{y})$, Estimated target position) 사이의 거리를 나타낸다. 평균한 D_j 값이 C 값보다 작으면 해당 표적위치에서는 위치추정이 가능하며 PL(T)는 '1', 그렇지 않으면 '0'으로 판정한다.

$$PL(T) = \Pr \left[\frac{1}{r} \sum_{j=1}^r D_j < C \right]$$

$$D_j = \left\{ (x - \hat{x}_j)^2 - (y - \hat{y}_j)^2 \right\}^{1/2} \quad (6)$$

따라서 Eq. (5)와 Eq. (6)에 의해 임의의 표적 위치에서의 점 효과도 결과(PE(T), Eq. (4))는 '0~2'의 범위 내의 수치로 산출된다.

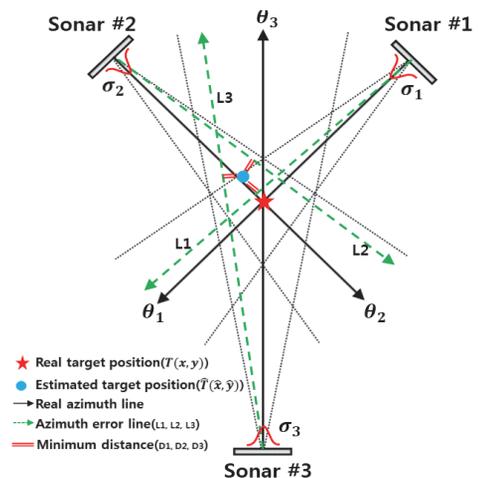


Fig. 2. The distribution of estimated target position

Fig. 2은 3개의 소나를 사용하여 특정 방위에서의 추정표적위치(\hat{T})를 파악하는 과정을 보여준다. 실제표적위치는 선 배열 소나 1, 2, 3번과 표적의 실제 탐지선(Real azimuth line)과 일치하며 하나의 교차점을 갖는다. 하지만 소나의 방위각 오차로 인해 추정 탐지선(L, Estimated azimuth line)이 형성된다. 추정 탐지선(L)의 방위는 실제 탐지선의 방위(θ_i)을 중심으로 방위오차(σ_i)를 가지는 정규분포(Normal distribution)에 의해 생성된다. 추정표적위치는 추정 탐지선들(L1~L3)로부터 거리의 합이 최소가 되는 점에 위치한다.

2.3 효과도 지수

다중 선 배열 소나 배치는 아군 핵심 자산의 위치를 고려하여 설치되어야 하기 때문에 방어 중요도에 따른 감시구역 설정이 필요하다.

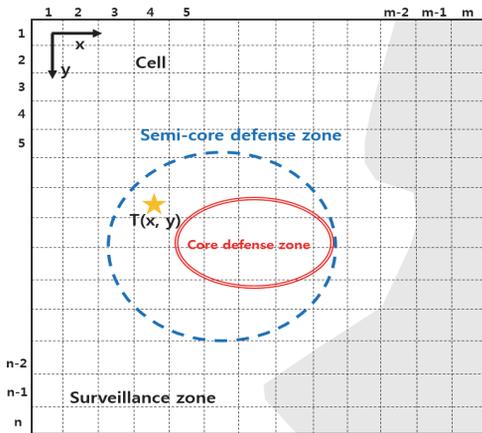


Fig. 3. The three kinds of defense zones

본 연구에서는 감시구역을 중점 감시구역(Core defense zone), 준 감시구역(Semi-core defense zone), 기타 감시구역(Surveillance zone)으로 구분한다(Fig. 3 참조). 방어 중요도에 따라 각 감시구역 별 가중치(W, Weight)를 부여해야 한다. 중점, 준, 기타 감시구역이 차등적인 방어 중요도를 가지는 것으로 가정하여 Table 1과같이 가중치를 부여한다.

Table 1. The weights of the effectiveness index

i	Effectiveness Index (A_i)	Weight(W_i)
1	$A_1 =$ Surveillance zone	1
2	$A_2 =$ Semi-core defense zone	2
3	$A_3 =$ Core defense zone	3

전체 효과도(Eff)는 모든 감시구역($A_1 \sim A_3$)에서의 가중치($W(T)$)와 앞선 2.2절에서의 점 효과도($PE(T)$)로 정리되며 아래의 Eq. (7) 수식으로 표현된다.

$$Eff = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} PE(T) W(T) dx dy$$

$$where W(T) = \begin{cases} 3, & \text{if } T \in A_3 \\ 2, & \text{if } T \in A_2 \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

본 연구에서는 모든 면적을 계산하기에는 시간적 소모가 많으므로 분석면적을 m개의 열과 n개의 행을 가지는 일정한 크기(S, Size)의 셀 단위로 나누었다. x번째 열, y번째 행의 셀에 대한 면적을 S_{xy} , 감시구역 가중치를 W_{xy} , 효과도 추정치를 \widehat{PE}_{xy} 로 정의한다. 셀 단위의 면적으로 정리된 전체 효과도 지수 수식은 Eq. (8)과 같다.

$$\widehat{Eff} = \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \widehat{PE}_{xy} S_{xy} W_{xy} \quad (8)$$

3. DPSO 알고리즘 적용

높은 탐지 성능을 가지는 선 배열 수동탐지소나 배치는 소나의 위치 및 방위, 감시구역에 따라 결정된다. 3가지 중요요소들이 서로 상호 복합적으로 작용하여 계산 복잡도를 야기 시킨다. 또한, 높은 탐지 성능을 가지는 배치가 다수 나타나 다양식으로 표현할 수 없는 미분 불가능한 형태를 가질 가능성이 존재한다. 각 셀의 출력 결과는 탐지 및 위치추정 유무(성공 또는 실패)와 같이 베르누이 확률변수로 나타나는 특성을 가진다.

이와 같이 비 결정적이며 베르누이 시행을 가지는 문제에서 신속하게 다양한 실험변수의 적합도를 평가하여 최적의 소나 배치에 수렴하기 위한 방법으로 최적화 방법 중 하나인 DPSO 알고리즘을 적용한다.

DPSO 알고리즘은 PSO(Particle Swarm Optimization) 기법을 응용한 방법으로 최적의 소나 배치에 영향을 미치는 각 선 배열 소나의 위치, 방위를 2진수로 이산화해 효율적으로 계산량을 처리 할 수 있다^{9,10}. Fig. 4는 본 연구에서 사용된 재평가 방법이 적용된 DPSO 알고리즘을 사용해 최적의 선 배열 소나 배치를 찾는 과정을 보여준다.

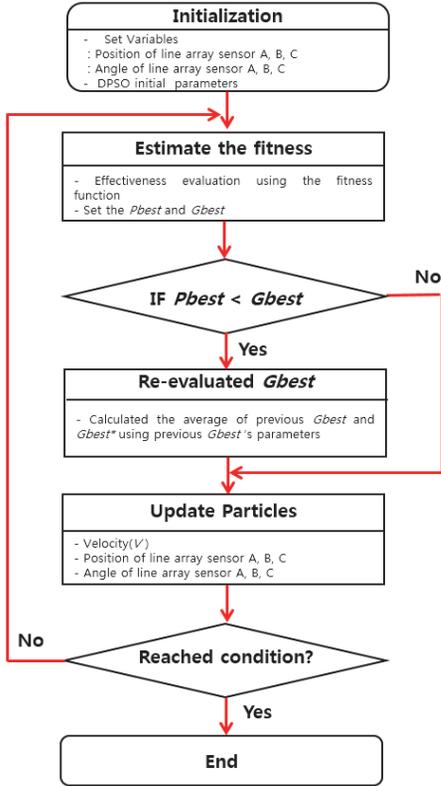


Fig. 4. The diagram of re-evaluated DPSO

실험공간(모든 선 배열소나 위치, 방위) 안에서 임의의 선 배열 소나 위치 및 방위 값을 가지는 입자들(Particle)이 자신이 경험했던 가장 높은 효과도 지수(P_{best})와 군집이 경험했던 가장 높은 효과도 지수(G_{best}) 정보를 참조하여 다음 시간에서의 소나 위치 및 방위를 결정한다. 또한, 최적화알고리즘에서 나타날 수 있는 과대평가치 오류를 보완하기 위하여 입자들이 경험했던 가장 높은 효과도 지수가 군집이 경험했던 가장 높은 효과도 지수보다 낮을 경우($P_{best} < G_{best}$)에 아래의 Eq. (9) 재평가 방정식을 사용하여 군집의 효과도 지수를 재평가한다^[2].

$$G_{best}^* = (Z \times G_{best} + G_{best}^k) / (Z + 1) \quad (9)$$

여기서, G_{best}^* 는 재평가된 효과도 지수, G_{best}^k 는 기존의 효과도 지수(G_{best}) 정보(소나 위치 및 방위)를 동일하게 사용하여 계산된 효과도 지수, Z 는 현재 상태까지 재평가 조건이 지속된 횟수를 의미 한다. 이와 같은 과정을 종료조건(반복계산 횟수)가 만족할 때 까지 반복한다.

4. 최적화 프레임워크 구성

DPSO 알고리즘을 사용하여 최적의 선 배열소나의 위치 및 방위를 찾아내는 프레임워크는 최적화 모델, 분석 모델, 수행기로 구성된다(Fig 5. 참조). 최적화 모델은 재평가된 DPSO 알고리즘을 설계한 부분으로 파이썬(Python)을 이용하여 구현하였다.

분석모델은 2장에서 언급한 수동탐지 소나의 탐지 및 위치추정, 효과도 지수를 설계한 모델로서 본 연구에서는 해양 무기체계 통합 시뮬레이션(QUEST, Quick assembly Unified Engineering Simulation Toolkit)을 사용하여 구현하였다^[11,12]. 수행기는 사용자가 정의한 실험변수 및 결과를 관리하는 서버와 고속으로 시뮬레이션을 수행하는 여러 대의 클라이언트로 이루어져 있다. 시뮬레이션 수행 과정은 다음과 같다.

- 1) 최적화 모델에서는 분석모델의 실험변수 참조
- 2) 입자들(실험 분석 경우의 수)의 속성 값(소나 위치, 방위)을 설정하고 분석모델의 실험계획을 갱신
- 3) 갱신된 실험계획은 수행기로 보내 실험을 수행
- 4) 실험이 종료되면 실험결과(효과도 지수)를 분석모델로 전달
- 5) 최적화 모델에서는 각 입자들의 실험결과 값을 참조하여 입자들의 속성 값 재설정 및 실험계획을 갱신
- 6) 실험종료조건(반복계산 횟수)가 만족할 때 1~5의 과정을 반복해서 수행
- 7) 최종적으로 최적의 소나 배치 안 도출

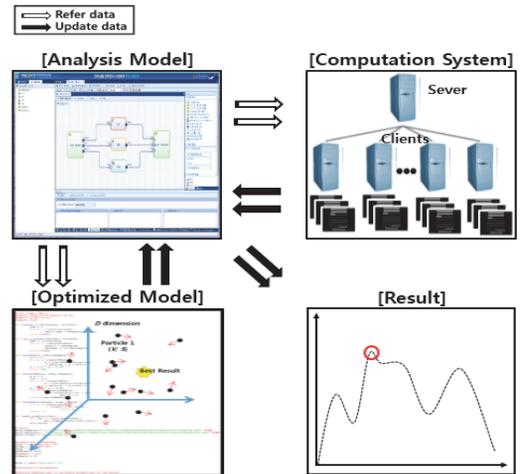


Fig. 5. The analysis framework of sonar arrangement

5. 수동탐지소나 배치 분석 및 고찰

5.1 시뮬레이션 설계

최적화 모델, 분석모델, 수행기에 적용한 주요 설정 값들은 Table 2와 같다. 최적화 모델에서는 효율적으로 국소탐색(Local search)을 위해 관성가중치(Inertial weight factor) 및 가속상수(Acceleration constant)를 ‘1’과 ‘2’로 설정하였고, 속도의 발산을 방지하기 위하여 속도의 범위를 ($V = -6.0 \sim +6.0$)로 제한한다¹³⁾.

공간을 탐색하는 총 입자 수(한 스텝에서의 소나 배치 조합 수)는 100개, 스텝은 50회(시뮬레이션 순환 횟수)로 정한다. 샘플링 수는 각 셀에서의 효과도 판단(위치추정 유무)에 영향을 미치는 부분으로 샘플링 수의 변화(입자 수, 스텝 수 동일한 조건)에 따른 사전실험을 통한 전체 효과도 지수가 큰 차이를 보이지 않았으므로 본 연구에서는 시뮬레이션 시간을 고려하여 10회로 정한다.

Table 2. The design values of the simulation framework

	Parameter	Contents	Value
1	DPSO	Particles	100
		Steps	50
		Inertial weight factor	1
		Acceleration constant	2
		Velocity	-6 ~ +6
2	Model	Number of models	3
		Number of location	225
		Azimuth	0° ~ 180°
		Effectiveness weight	1 ~ 3
3	Computation system	Sever	1
		Client	10

분석모델에서는 비용적인 측면과 논 연구에서 정의한 위치추정방법을 고려하여 3개의 선 배열 소나를 사용한다. 소나의 분석 위치는 225개, 소나 방위는 10도 단위로 0~180도까지 설정한다. 각 감시구역에 대한 효과도 가중치는 1~3까지 차등 적용하여 전체 효과도 지수 계산에 적용한다. 수행기는 실험결과를 관리하는 서버는 1대, 고속 시뮬레이션을 수행하는 클라이언트는 10대를 사용한다.

5.2 수동 탐지소나 배치 결과분석

Fig. 6은 최적화 프레임워크를 사용하여 도출된 최적의 수동탐지소나 배치를 보여준다. 3개의 소나는 각각 45번(130도), 82번(110도), 225번(140도)에 위치한다. 회색

영역은 탐지가능영역(Detection area), 검정색 영역은 위치추정가능영역(Localization area)을 의미한다. 82번 소나는 중점감시구역 경계선에 위치하며, 준 감시구역 외부에 위치한 소나 45번 소나와의 위치추정 계산에 통해 표적 잠수함의 위치추정이 가능한 영역을 준 감시구역 내에서 확보한다. 225번 소나는 45번 소나와 마찬가지로 준 감시구역 외곽에 위치하여 전체 탐지가능영역을 넓히는 역할을 한다.

최적화 프레임워크를 사용하여 도출된 수동탐지소나 배치는 총 5,000 포인트(입자 수 100, 스텝 수 50)의 소나의 위치 및 방위를 계산한 결과이며, 최종적인 해에 근접한 후보군들 중 하나이다.

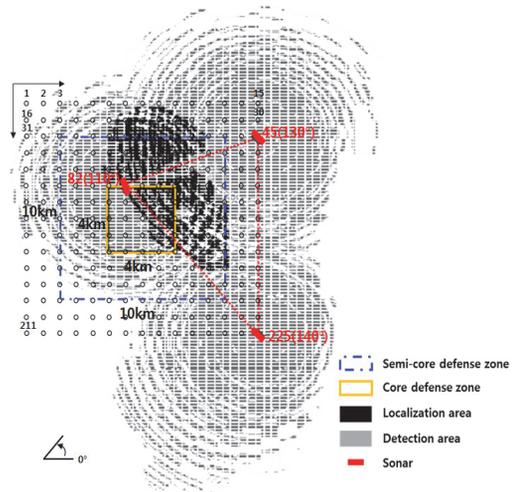


Fig. 6. The result of sonar arrangement from DPSO framework

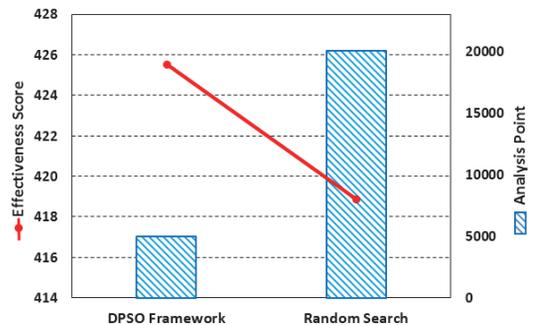


Fig. 7. The effective score of DPSO framework and random search

Fig. 7는 임의의 변수를 선택하여 해를 찾는 랜덤탐색(Random Search)과 최적화 프레임워크를 사용하여 도출된 수동탐지소나 배치 효과도지수를 구하기 위해 분석한 포인트 수를 보여준다. 최적화 프레임워크는 랜덤탐색 결과보다 4배작은 분석 포인트를 계산했음에도 불구하고 효과도 지수는 약 6.63 높게 나타나는 배치 안을 제시한다.

5.3 최적화 조건변경에 따른 결과 수렴 과정 비교

최적화 프레임워크에서의 분석 포인트는 입자 수와 스텝 수에 의해 결정된다. 보다 적은 입자 수와 스텝 수를 사용하여 최종적인 해에 근접한 결과를 도출한다면 분석 시간을 대폭 줄일 수 있다. Fig. 8은 분석 포인트 개수에 영향을 끼치는 입자 수, 스텝 수의 조건 변화에 따른 최적의 해로 찾아가는 과정을 보여준다.

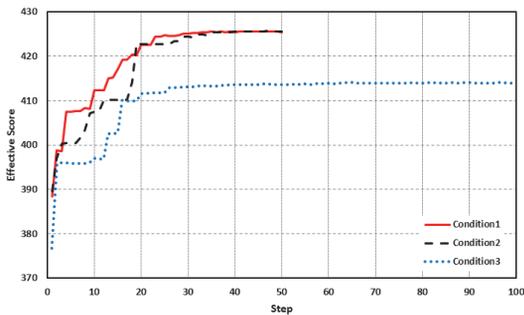


Fig. 8. The effective scores on design conditions (Condition1=Particle 100, Step 50 ; Condition2=Particle 200, Step 50 ; Condition3=Particle 50, Step 100)

조건 1(입자 수 100, 스텝 수 50)이 전체적으로 최적의 해로 찾아가는 과정이 안정적이며 스텝 수 20번째부터의 값들이 수렴되기 시작한다. 조건 1보다 입자 수를 늘린 조건 2의 경우(입자 수 200, 스텝 수 50)는 30번째 스텝 까지 조건 1보다 낮은 효과도 지수를 가진다. 입자 수 50, 스텝 수 100을 가진 조건 3은 스텝 수를 증가시켰음에도 낮은 효과도 지수를 가지며 시뮬레이션이 종료될 때 까지 최적의 해에 근접하지 않는 결과를 보여준다. 적은 입자 수로 인해 초기에 충분한 분석 포인트를 파악하지 못해 전역적 과대평가치 오류에 빠진 것으로 판단된다.

입자 수는 한 스텝에서 분석하는 포인트 개수를, 스텝 수는 입자들을 평가하여 갱신하는 횟수를 의미한다. 입자 수를 증가시키면 한 스텝에서 분석하는 포인트 개수가 늘어나 넓은 범위에서의 소나 배치 위치와 방위를 분석

가능한 장점을 가진다. 스텝 수를 증가시키면 스텝에서 분석된 최고의 소나 배치 위치 및 방위를 참조한 주변 포인트 분석지점을 증가시켜 높은 효과도 지수를 가지는 해를 찾는 장점을 가진다. 하지만 많은 입자 수와 스텝 수는 시뮬레이션 시간에 직접적으로 영향을 끼치기 때문에 시뮬레이션 환경을 파악하여 적절한 조절이 필요하다.

6. 결론

본 연구에서는 수증으로 침투하는 표적 잠수함을 상시감시하기 위한 고정형 수동탐지소나 배치를 찾는 방안을 제시하였다. 전 방위탐지가 가능하며, 원거리에서도 표적 잠수함 탐지 및 위치를 추정하기 위한 3조의 수동선 배열 소나를 고려하였다. 분석 면적을 일정 셀 단위로 나누어 잠재적인 표적 잠수함 위치로 가정하였으며, 탐지 및 위치추정 효과도 판정과 중요도에 따른 감시구역 가중치를 계산하는 방법을 사용하여 수동탐지소나 배치의 탐지성능을 나타내는 효과도 지수를 산출하였다.

수동탐지소나 배치의 탐지성능은 확률적인 특성과 다양한 요소들로 인해 예측하기 어려우며 많은 분석시간이 소요된다. 따라서 최적화 방법 중 하나인 DPSO 알고리즘을 사용하여 해에 근접한 수동탐지소나 배치를 찾아가는 실험을 수행하였다. 일반적인 랜덤서치보다 4배작은 분석 포인트를 계산했음에도 높은 탐지성능을 가지는 수동탐지소나 배치 안을 도출하였다. 또한, 추가적으로 DPSO 알고리즘을 사용한 실험에서 분석 포인트에 영향을 끼치는 입자 수, 스텝 수에 따른 결과 수렴과정을 분석하였다.

앞으로 수증환경, 침투 시나리오가 고려된 복잡한 실험에서 최적화 방법론을 사용하여 신속하게 높은 탐지성능을 가지는 수동탐지소나 배치를 연구하여 수증감시체계 업무를 지원하는데 기여하고자 한다.

References

- Xu, J., Huang, E., Chen, C.H., and Lee, L.H., "Simulation Optimization: A Review and Exploration in the New Era of Cloud Computing and Big Data", *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, Vol. 32, No. 3. 2015.
- Kim, S.B., Kim, J.H., and Lee, D.H., "A Study of Modified PSO for the Optimization of Stochastic Simulations", *Journal of the Korea Society for*

- Simulation, Vol. 22, No. 4, pp. 21-28, 2013.12.
3. Yim, D.S., "Particle Swarm Optimizations to Solve Multi-valued Discrete Problems", Society of Korea Industrial and Systems Engineering, Vol. 36, No. 3, pp. 63-70, 2013.9.
 4. Lee, S.E., Chun, S.Y., Hwang, S.B., and Lee, S.W., "Implementation of the Omnidirectional Target Bearing Detector Utilizing Towed Linear Arrays", Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 5, No. 1, pp. 59-64, 2002.5.
 5. Urick, Robert J., Principles of Underwater Sound, 3rd Edition, McGraw-Hill, 1983.
 6. Waite, Ashley D., Sonar for Practising Engineers, 3rd Edition, John Wiley & Sons, 2002.
 7. Na, Y.N., and Kim, Y.G., "Development of Ocean Synthetic Environment Simulator for Underwater Engagement Simulation", The Conference of The Acoustical Society of Korea, pp. 22-25, 2007.
 8. Ainslie, Michael A, Principles of Sonar Performance Modelling, Springer, 2010.
 9. J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization", IEEE International Conference, pp. 1404-4108, 1995.
 10. J. Kennedy and R. Eberhart, "A Discrete Binary Version of the Particle Swarm Algorithm", IEEE International Conference, pp. 1942-1948, 1997.
 11. Hwang, K.C., Lee, M.K., Han S.J., Yoon J.M., You Y.J., Kim, S.B., Nah, Y.I., Kim J.H. and Lee, D.H., "The DEVS Integrated Development Environment for Simulation-based Battle experimentation", Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 22, No. 4, pp. 39-47, 2013.12.
 12. Lee, Y.H., Cho, K.T., Lee, S.Y., Hwang, K.C. and Kim S.H. "Framework and Tools for Rapid M&S Component Development and Reusability", Journal of the Korea Society for Simulation, Vol. 22, No. 4, pp. 29-38, 2013.12.
 13. J. Kennedy, "The behavior of particles", Evolutionary Programming VII, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1447, pp. 579-589, 1998.



강종구 (kangjg@add.re.kr)

2012 계명대학교 전자공학과 학사
2014 대구경북과학기술원 정보통신융합공학과 석사
2014~현재 국방과학연구소 제6기술연구본부 연구원

관심분야 : 모델링&시뮬레이션, 시뮬레이션 프레임워크