

방위각 추정 및 소노부이 위치 오차를 보정한 DIFAR 소노부이의 표적 위치 추정 성능 향상 기법

곽상열
국방기술품질원 인재개발팀

Target Localization for DIFAR Sonobuoy compensated Bearing Estimation and Sonobuoy Position Error

Sang-Yell Gwak
Human Resources Development Team, Defense Agency for Technology and Quality

요 약 소노부이는 수면 위에 투하되어 수중에 존재하고 있는 표적의 방위각을 추정한다. 그 중 DIFAR 소노부이는 방위각을 추정하는 방법과 해상 잡음으로 인해 오차가 발생하게 되며, 특히 특정한 각도 구간에서 오차가 커지게 된다. 이는 다중 소노부이를 이용하여 표적의 위치를 추정하는데 표적 위치 추정 오차를 유발하게 된다. 또한, 해류로 인해 소노부이의 위치는 계속해서 움직이게 되는데 현재 GPS를 장착한 소노부이는 DIFAR 소노부이 중간에 간헐적으로 배치 되기 때문에 DIFAR 소노부이는 정확한 위치를 알 수 없어 이 또한 표적 위치 추정 성능의 저하를 유발하게 된다. 본 논문에서는 DIFAR 소노부이 방위각 추정 기법의 특성을 이용하여 방위각 추정 오차를 계산하고, 이를 표적 위치 추정 기법에 활용하여 그 오차를 줄이는 기법을 제안한다. 이때 간헐적으로 배치된 GPS 장착 및 능동 소노부이를 기반으로 표적 위치 추정 기법에 사용되는 소노부이의 위치 오차를 보정하여 표적 위치 추정 성능을 향상시키게 된다.

Abstract A sonobuoy is dropped onto the surface of water to estimate the bearing of an underwater target. A Directional Frequency Analysis and Recording (DIFAR) sonobuoy has an error in the specific angular section due to the method of estimating bearing and noise, which causes an error in target localization using multiple sonobuoys. In addition, the position of the sonobuoy continues to move, but since a sonobuoy with a GPS is intermittently arranged, it is difficult to estimate the exact position of the sonobuoy. This also causes target localization performance degradation. In this paper, we propose a technique to improve the target localization performance by compensating for bearing errors using characteristics of the DIFAR sonobuoy and multiple-sonobuoy position errors based on the intermittently arranged active sonobuoy with a GPS.

Keywords : Sonobuoy, Target Localization, Bearing Estimation, Position Estimation, Active Sonobuoy

1. 서론

1.1 소노부이

1.1.1 DIFAR 소노부이의 방위각 추정

소노부이(sonobuoy)는 해상에 투하되어 수중에 존재

하는 표적의 방위각을 추정하는 시스템이다[1]. 소노부이는 대표적인 표적인 잠수함에서 방사되는 음원을 수집하게 되고 이를 운용 항공기에 송신하게 된다. 항공기에서는 수신받은 소노부이의 신호를 이용하여 음원의 방향을 추정하게 되며 다수의 소노부이가 추정한 방향을 이용하여 표적의 위치를 추정하게 된다. 소노부이의 종류에 따

*Corresponding Author : Sang-Yell Gwak(Defense Agency for Technology and Quality)

email: sygwak@dtaq.re.kr

Received October 4, 2019

Accepted February 7, 2020

Revised October 28, 2019

Published February 29, 2020

라 표적의 방위각을 추정하기 위해 다양한 기법들을 사용하지만 DIFAR(Directional Frequency Analysis and Recording) 소노부이는 두 개의 지향성 센서를 이용하여 표적의 방위각을 추정하게 된다[2]. 이때 두 개의 지향성 센서는 수직으로 구성되어 각 센서에 수신되는 음향 신호의 크기를 비교하여 방위각을 추정한다. 또한, 지향성 센서 이외에도 무지향성 센서를 중심에 두게 되는데 이는 표적신호의 주파수 스펙트럼을 분석하여 톤(tonal) 성분을 탐지하고, 지향성 센서 신호와 위상을 비교하여 표적 방위각의 사분면을 정하는데 사용된다.

이렇게 지향성 센서에 수신되는 표적 신호의 크기를 비교하여 방위각을 추정하는 시스템에서 수중 잡음은 방위각 추정 성능에 영향을 크게 미치게 된다. 특히 표적이 $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 에 있을 경우 어느 하나의 지향성 센서에 수신되는 신호는 0[dB] 여야 하지만, 잡음의 영향으로 크기를 가지게 되면서 이 구간의 방위각 오차는 커지게 된다.

1.1.2 DIFAR 소노부이의 표적위치 추정

이러한 소노부이는 방위각만을 추정할 수 있기 때문에 표적의 위치를 추정하기 위해서는 다중의 소노부이가 필요하게 된다. 두 개 이상의 소노부이가 추정한 방위각의 교점을 표적의 위치라고 추정하게 되는데 이는 방위각 오차로 인해 하나의 점으로 수렴되기가 힘들다. 그렇기 때문에 표적 위치 추정 기법에서 방위각 오차를 보정하여 활용할 필요성이 있다. 또한, 만약 다중 소노부이의 위치에 오차가 있다면 표적의 위치에도 오차가 발생하게 된다[3]. 현재 GPS가 장착된 소노부이나 능동형 소노부이가 운용 중에 있지만 가격 및 효율적인 측면에서 일반 소노부이 중간에 간헐적으로 배치되어 운용되고 있다. 그렇기 때문에 GPS 장착 소노부이의 위치나 능동형 소노부이를 이용하여 다수의 소노부이의 위치를 보정하는 기법이 필요하다.

본 논문에서는 DIFAR 소노부이의 방위각 추정 기법이 가질 수밖에 없는 방위각 추정 오차를 계산하고 이를 표적 위치 추정 기법에 적용하여 오차를 줄이는 기법을 제안한다. 또한, GPS 장착 및 능동형 소노부이를 이용해 다중 소노부이의 위치 오차를 보정하는 기법을 제안하고 성능을 분석하였다.

2. 본론

본론에서는 DIFAR 소노부이가 표적의 방위각을 추정하기 위해 사용하는 기법과 이 기법으로 인해 발생하는 방위각 추정오차에 대해 설명한다. 이 방위각 오차는 추정 기법에 의해 발생하는 것이므로 기법의 특성을 고려하여 이를 예측하게 되고 표적 위치 추정 기법에서 보상되어진다. 또한, 해류에 의해 생기는 소노부이의 위치 오차를 보상하는 두 가지 기법을 제안하며, 시뮬레이션을 통해 이 기법들의 성능 개선을 검증한다. 전체적인 실험 절차는 Fig. 1과 같다.

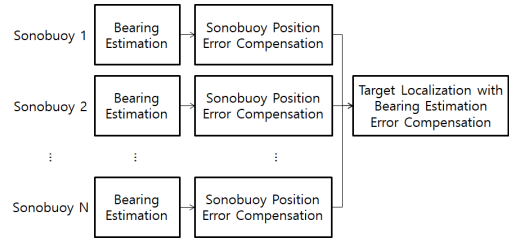


Fig. 1. Proposed method of Target localization

2.1 표적 위치 추정 향상 기법

2.1.1 DIFAR 소노부이의 방위각 추정 기법

DIFAR 소노부이는 Fig. 2와 같이 두 쌍의 지향성 센서와 하나의 무지향성 센서로 구성되어 있다. 지향성 센서는 음향신호의 크기를 측정하여 표적의 방위각을 추정하는데 사용되며, 무지향성 센서는 표적 신호의 탐지와 표적 방위각의 사분면을 결정하는데 사용된다.

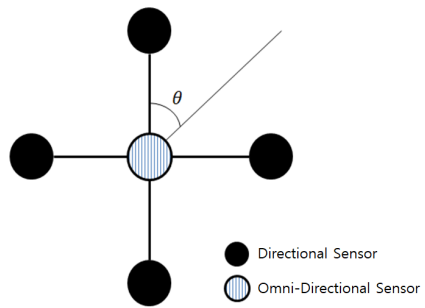


Fig. 2. DIFAR Sonobuoy

만약 소노부이에 Eq. (1)의 표적 음향신호가 Fig. 2의 θ 방향으로 수신된다면 지향성 센서에 수신되는 신호는 Eq. (2)로 표현할 수 있다. 이때 센서의 이득은 동일한 조건으로 증가하므로 표적의 방위각 추정에 영향을 주지 않기 때문에 고려하지 않았다.

$$s(t) = A\sin(2\pi ft) \quad (1)$$

$$s_X(t) = A\sin(2\pi ft)\sin(\theta) \quad (2)$$

$$s_Y(t) = A\sin(2\pi ft)\cos(\theta)$$

Where, A denotes amplitude, f denotes frequency t denotes time, θ denotes bearing of target

무지향성 센서에 수신되는 신호는 표적의 신호와 같으며, FFT(Fast Fourier Transform)를 거쳐 문턱치(Threshold)를 넘는 토널 성분을 탐지하게 된다.

이 토널 성분을 표적 신호라고 보고 그 주파수 신호에 대해 방위각을 추정하게 된다. 방위각은 Eq. (3)과 같이 X축 지향성 센서 신호의 크기와 Y축 지향성 센서 신호의 크기를 비교하는 것으로 추정되어 진다.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{|S_X|}{|S_Y|}\right) \quad (3)$$

Where, S_X denotes magnitude of FFT analysis of $s_X(t)$, S_Y denotes magnitude of FFT analysis of $s_Y(t)$

2.1.2 DIFAR 소노부이의 방위각 추정 오차

DIFAR 소노부이가 가지는 방위각 추정 오차는 추정 기법에서 발생하는 오차 이외에도 다양한 원인에 의해 오차가 발생되며 이는 Table 1과 같다. 하지만 본 논문에서는 방위각 추정 기법에서 발생하는 신호처리 오차인 방향성 센서의 오차만을 다룬다.

Table 1. Types and Causes of Bearing Estimation Errors

Types	Causes
Directional sensors error	SNR of target signal & Estimated bearing of target
Omni sensor error	Detection error of tonal frequency
Magnetic sensor error	North direction detection error

2.1.1절에서 설명한 방위각 추정 기법은 백색 잡음(white noise)이 없는 환경, 즉, SNR(Signal to Noise Ratio)이 매우 높은 환경에서는 오차가 거의 없다. 하지만 실제 환경에서는 센서에 백색 잡음이 수신되게 되고 이는 방위각 추정 오차를 유발한다. 이에 대한 예시로 만약 표적신호가 90° 방향에서 수신될 경우 X축 지향성 센서는 신호의 크기가 원래의 신호와 같지만 Y축 지향성 센서의 크기는 0[dB]가 되어야한다. 하지만 백색 잡음으로 인해 Y축 센서에도 신호가 존재하게 되고 이는 방위

각 오차로 이어진다. 이 상황에서가상의 표적신호가 각 센서에 수신된다고 가정하여 FFT 결과를 그림으로 표현하면 Fig. 3과 같다. 이때 표적 신호는 90° 방향에서 약 40[dB]의 SNR을 가지고 수신되며 토널 주파수는 60[Hz]이다.

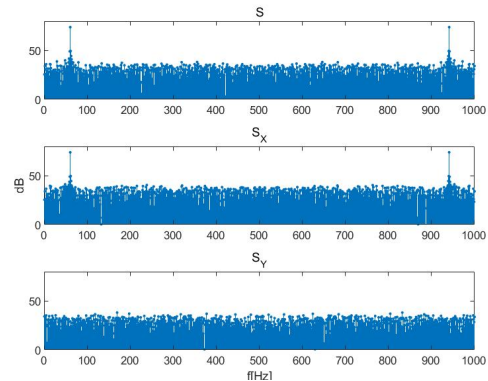


Fig. 3. FFT result of sensors

이렇게 DIFAR 소노부이의 방위각 추정 기법은 표적이 존재하는 방위각과 신호의 SNR에 의해 추정 오차를 가질 수밖에 없고, 이는 다중 소노부이를 이용한 표적 위치 추정의 성능에 영향을 미치게 된다. 하지만 이 방위각 오차는 DIFAR 소노부이의 방위각 추정 기법에 의해 생기는 오차로 표적 신호의 SNR과 표적의 방위각을 일정하게 변화시켜 시뮬레이션을 하면 모델링할 수 있게 된다. 모델링된 방위각 오차는 Table 2와 같이 데이터 형태로 저장되게 되며, 이 곡선들을 curve fitting을 통해 나타낸 식이 Eq. (4) 이다. 이때 방위각 오차는 90° 단위로 반복되므로 Eq. (4)에 표시된 각도 이외에는 90°로 나는 나머지 θ 값을 사용하면 된다. 계산된 방위각 오차는 해당 소노부이가 추정한 방위각에 그만큼의 오차를 수반한다는 것을 의미하고 이는 표적 위치 추정 기법에서 보상되어진다.

Table 2. RMSE[°] of bearing error with respect to SNR and angle

Angle[°]	SNR[dB]				
	0	1	...	49	50
0	37.51	33.60	...	0.17	0.15
1	36.03	32.28	...	0.16	0.15
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
359	36.03	32.28	...	0.16	0.15
360	37.51	33.60	...	0.17	0.15

$$\begin{aligned} 37.51 - 1.477\theta e^{(-0.11\text{SNR})} & \quad \theta < 10 \\ 22.74e^{(-0.11\text{SNR})} & \quad 10 < \theta < 80 \\ 37.51 - 1.477(90 - \theta)e^{(-0.11\text{SNR})} & \quad 80 < \theta \end{aligned} \quad (4)$$

Where, θ denotes the bearing of the target

2.1.3 방위각 오차를 보정한 표적 위치 추정 향상 기법

하나의 소노부이는 방위각만을 추정하기 때문에 표적의 위치를 추정하기 위해서는 두 개 이상의 소노부이가 필요하게 된다. 만약 하나의 표적과 두 개의 소노부이가 존재한다면 교차점이 한 개만 발생되기 때문에 표적의 위치는 교차점이라고 추정할 수 있다. 하지만 세 개 이상의 소노부이가 방위각 오차를 가진 상태이면 하나의 교차점이 아니라 추정 공간이 발생하므로 이를 보정하여 하나의 표적 추정 위치를 계산할 필요성이 있다.

이때 주로 사용하는 기법이 Least Square(이하 LS) 기법이다[4]. 이 기법은 방위각 오차가 없다고 가정하고 각 소노부이가 추정한 방위각을 이용하여 Eq. (5)과 같이 간단하게 구할 수 있다. 이때 \mathbf{T}_{LS} 는 LS 기법을 이용하여 추정한 표적의 위치이며, \mathbf{G} 와 \mathbf{h} 는 각각 Eq. (6)과 Eq. (7)로 표현 할 수 있다.

$$\mathbf{T}_{LS} = (\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T \mathbf{h} \quad (5)$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} \sin(\theta_1) & -\cos(\theta_1) \\ \vdots & \vdots \\ \sin(\theta_M) & -\cos(\theta_M) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{h} = \begin{bmatrix} x_1 \sin(\theta_1) - y_1 \cos(\theta_1) \\ \vdots \\ x_M \sin(\theta_M) - y_M \cos(\theta_M) \end{bmatrix} \quad (7)$$

Where, $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_M$ denotes the estimated bearing of the i th sonobuoy

x_1, x_2, \dots, x_M and y_1, y_2, \dots, y_M denotes the coordinates of the i th sonobuoy

하지만 이 기법은 방위각 오차를 무시하고 표적의 위치를 추정하는 기법으로 만약 오차가 있을 시 우수한 표적 위치 추정 성능을 기대하기 어렵고 이를 보완하기 위해 사용되는 기법이 Weighted Least Square(이하 WLS) 이다[5]. WLS기법은 기존 LS기법의 성능을 향상시키기 위해 가중 Matrix를 사용하는데 이 가중 Matrix는 소노부이와 표적간의 거리와 방위각 오차를 이용하여 구할 수 있다. 즉, 표적에서 멀고 방위각 오차가 클수록

해당 소노부이에 작은 가중치를 주어 표적 위치 추정에 해당 방위각 정보를 적게 사용하게 된다. WLS 기법으로 추정한 표적의 위치는 Eq. (8)이며, 가중 Matrix인 \mathbf{W} 는 Eq. (9)로 나타낼 수 있다. \mathbf{D} 와 \mathbf{E} 는 각각 표적과 소노부이간의 거리와 방위각 오차의 분산 값으로 구성되어 있으며, Eq. (10)과 Eq. (11)로 표현할 수 있다.

$$\mathbf{T}_{WLS} = (\mathbf{G}^T \mathbf{W} \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T \mathbf{W} \mathbf{h} \quad (8)$$

$$\mathbf{W} = (\mathbf{E} \mathbf{D})^{-1} \quad (9)$$

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_1^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & d_2^2 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & d_M^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Where, d_1, d_2, \dots, d_M denotes the distance of the i th sonobuoy and target

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & \sigma_M^2 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Where, $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_M$ denotes the variance of the bearing error of the i th sonobuoy

이때 표적의 위치는 알 수 없어 \mathbf{D} 를 구할 수 없기 때문에 LS 기법을 선행하여 대략적인 표적의 위치를 이용하게 된다. 또한, \mathbf{E} 는 수신된 신호의 SNR 값과 표적의 방위각 값을 이용하여 Eq. (4)로 계산하게 된다. 기존 WLS 기법의 경우 DIFAR 소노부이의 특성을 고려하지 않고 방위각 오차를 임의로 고정된 값을 사용하여 \mathbf{E} 를 구성하였다[6,7]. 본 논문에서는 방위각 추정 기법을 이용하여 방위각 오차를 예측하기 때문에 보다 정확한 \mathbf{E} 를 계산에 사용하게 된다.

2.2 소노부이의 위치 오차 보상 기법

앞 절에서 각 소노부이가 추정한 방위각 오차를 보상하여 표적 위치 추정하는 기법을 제안하였지만 각 소노부이의 위치에 대한 오차는 고려하지 않았다. 실제로 사용되는 소노부이는 해류에 의해 위치가 계속해서 변하게 되고 이를 지속적으로 보상에 줄 필요성이 있다. 만약 투하되는 소노부이에 모두 GPS가 내장되어 위치를 보상할 수 있으면 좋겠지만 비용적인 측면으로 인해 간헐적으로

GPS 장착 소노부이를 투하시키고 있는 실정이다. 그렇기 때문에 GPS 장착 소노부이의 위치 데이터를 이용하거나 능동형 음원을 이용하여 다른 소노부이의 위치를 보상하는 것이 필요하다. 이때 한정된 공간에서 해류에 의해 물체가 이동하는 정도는 모든 물체가 유사하게 이동하고 표준 분포의 오차를 가진다고 가정한다. 본 논문에서는 2018년 동해 울릉도 북서 해상의 해류 유속 평균 값인 26.66 cm/s와 분산 값으로 223.17 cm/s를 사용하였다[8].

2.2.1 동일 이동을 가정한 보상 기법

가장 간단하게 다중 소노부이의 위치를 보상하는 기법은 모든 소노부이가 동일하게 이동한다고 가정하고 위치를 추정하는 것이다. GPS 신호가 수신될 때마다 GPS 장착 소노부이의 이동량만큼 모든 소노부이를 이동시켜 표적 위치 추정 기법에 사용되는 소노부이 위치를 갱신시켜준다. Fig. 4는 가로로 배치된 3개의 소노부이 중 중심에 위치한 소노부이만 GPS가 장착되어 있다는 가정 하에 10분 동안 움직인 이동 경로를 보여준 한 예이다. 각 소노부이간의 거리는 100m이며 해류는 북쪽 방향으로 진행된다고 가정하였다. 이 기법으로 소노부이 위치를 보정하였을 때 위치 오차를 거리로 표현하면 Fig. 5와 같다. 이 기법의 경우 그림과 같이 시간이 지날수록 위치 추정 오차가 중첩되어 장시간 운용할 경우 위치 오차가 점점 커지는 것을 확인할 수 있으며, 예시의 경우 10분 동안 최대 16m의 오차를 유발하였다. 이러한 소노부이 위치 오차는 표적의 위치를 추정하는데 오차를 유발하게 되며 조금 더 정확하게 소노부이의 위치를 보상할 필요가 있다.

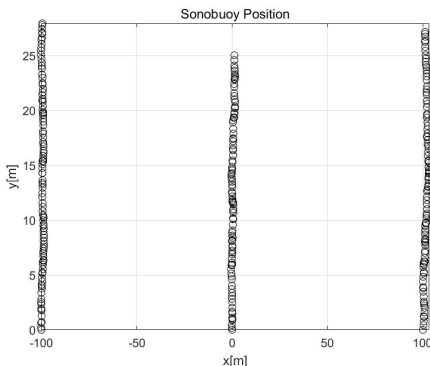


Fig. 4. Sonobuoy position of simulation

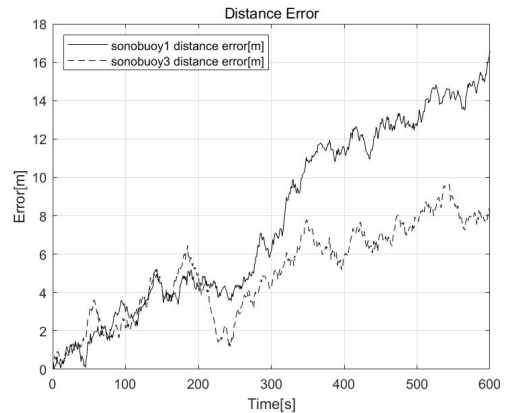


Fig. 5. Distance error of sonobuoy 1 & 3 assuming same moving

2.2.2 능동 소노부이를 이용한 보상 기법

현재 운용중인 GPS 장착 소노부이는 능동형 소노부이로 표적을 추정하기 위한 음원으로 작동할 수 있다[9]. 이 음원은 각 소노부이에도 수신되며 송신 시간과 수신 시간의 시간차를 이용하여 Eq. (12)와 같이 능동형 소노부이와 다른 소노부이간의 거리를 계산할 수 있다.

$$d = (t_r - t_s)c \quad (12)$$

Where, t_r denotes the received time of sonobuoy t_s denotes the transmitted time of active sonobuoy c denotes the speed of sound in the underwater

이렇게 계산된 거리와 GPS를 이용하여 추정한 소노부이와의 거리가 다를 경우 이 두 데이터를 융합하여 조금 더 정확한 소노부이의 위치를 추정할 수 있게 된다. 계산된 거리 d 는 능동형 소노부이를 중심으로 지름이 d 인 원 둘레에 추정된 소노부이가 위치함을 의미한다. 이 원과 2.2.1 절의 방법으로 추정한 소노부이 및 능동형 소노부이의 직선 방정식의 교점을 소노부이의 위치라고 추정한다. 이때 원과 직선을 식으로 표현하면 Eq. (13)과 같다.

$$\begin{aligned} (x - s_a(x))^2 + (y - s_a(y))^2 &= d^2 \\ y &= \frac{s(y) - s_a(y)}{s(x) - s_a(x)}(x - s_a(x)) + s_a(y) \end{aligned} \quad (13)$$

Where, $s_a(x), s_a(y)$ denotes the coordinates of the active sonobuoy

$s(x), s(y)$ denotes the coordinates of the DIFAR sonobuoy

이 기법으로 추정한 소노부이 위치에 대한 오차는 Fig. 6과 같다. 2.2.1절과 동일한 실험의 데이터를 이용하여 소노부이의 위치를 추정하였기 때문에 직접적인 비교가 가능하다. 그림과 같이 전체적으로 오차가 줄어들었으며 최대 오차는 약 8m로 기존 기법보다 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

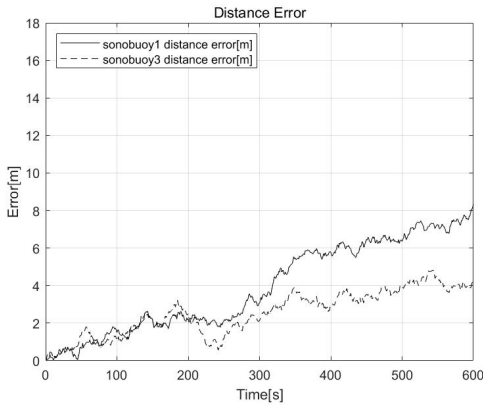


Fig. 6. Distance error of sonobuoy 1 & 3 using active sonobuoy

2.3 성능 검증을 위한 시뮬레이션

앞서 제안한 기법의 성능을 검증하기 위해 다양한 시뮬레이션을 구현하였다. 시뮬레이션은 표적 위치에 대한 성능을 분석하기 위해 고정 위치에 있는 표적에 대한 실험과 움직이는 표적을 가정한 실험을 진행하였다. 또한, 특정한 위치에서의 성능이 아닌 다중 소노부이가 탐지할 수 있는 범위 내에서 성능을 분석하기 위해 몬테카를로 실험마다 무작위로 표적을 배치하는 시뮬레이션도 진행하였다. 표적은 하나만 존재하며, 9개의 소노부이를 십자 형태로 배치하여 실험하였다. 이때 중심에 있는 소노부이가 GPS 장착 소노부이와 능동형 소노부이의 역할을 한다. 각 소노부이에 수신되는 신호는 Eq. (14)의 전달방정식을 구현하였으며[10,11], 표적 신호는 60[Hz]의 톤별 주파수를 가지며 120~ 150[dB/Hz]의 크기로 발생된다.

$$\begin{aligned} \text{SNR} &= S - TL - N \text{ [dB/Hz]} \\ TL &= 20 \log d \end{aligned} \quad (14)$$

Where, S denotes the signal power
 TL denotes the transmission loss
 N denotes the noise power

백색잡음의 크기는 해상상태(Sea state)가 0일 때 표적 주파수대에서 발생하는 크기인 60[dB/Hz]로 가정하였다.[9] 해류의 방향은 북쪽으로 가정하였으며, 100초 동안의 표적 위치 추정 성능을 실험하였다. 시뮬레이션에는 표적 위치 추정 기법에 LS기법과 WLS 기법을 사용하였고, 소노부이 위치 추정 기법에 동일한 이동량을 가정한 기법(SM:Same Moving, 이하 SM)과 능동형 소노부이를 이용한 기법(AC:using ACtive sonobuoy, 이하 AC)을 사용하였다. AC기법은 5초에 한번 씩 핑(ping)을 쏘는 것으로 가정하여 그때마다 해당 기법으로 위치를 보상하였으며, 나머지 구간에서는 SM기법을 이용한다. 사용한 기법을 정리하면 Table 3과 같으며 시뮬레이션 결과에는 각각의 약어를 사용하였다.

Table 3. Techniques used in simulation

Sonobuoy localization	Target localization	Least Square	Weighted Least Square
	Same moving	LS&SM	WLS&SM
Using Active Sonobuoy	LS&AC	WLS&AC	

2.3.1 고정 표적에 대한 시뮬레이션

고정 표적과 소노부이의 초기 위치는 Fig. 7.과 같다. 고정된 표적에 대한 표적 위치 추정 성능은 Fig. 8과 같다. 전체적으로 각 기법별로 WLS기법이 LS기법보다, AC기법이 SM기법보다 표적 위치 추정 오차가 적게 발생하였다.

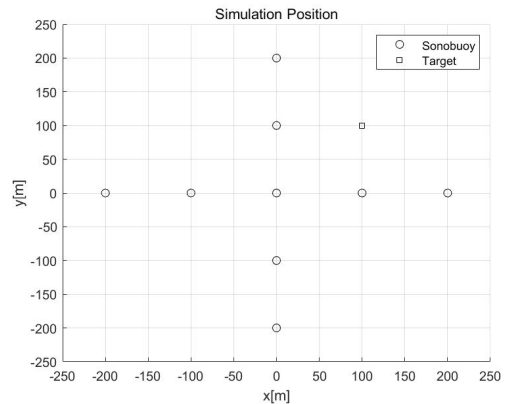


Fig. 7. Position of sonobuoy and target for simulation 1

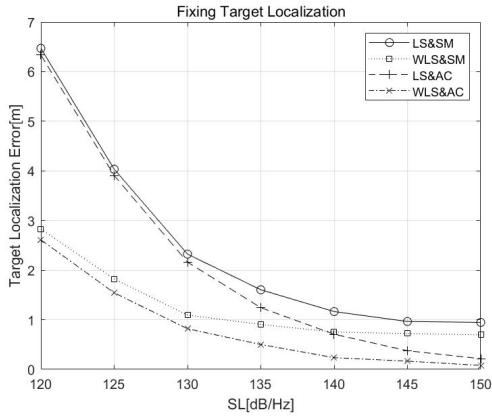


Fig. 8. Target localization error of simulation 1

특이한 점으로 표적 신호의 크기가 140[dB/Hz] 이상이 되는 구간은 WLS&SM 기법보다 LS&AC 기법의 성능이 우수하게 나타나는데, 이는 표적 신호가 클 경우 방위각 오차보다 소노부이의 위치 오차가 표적 위치 추정 성능에 더 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다. 이 결과를 반영하여 소노부이에 수신되는 SNR에 따라 표적 위치 추정 기법과 소노부이 위치 추정 기법을 유동적으로 변경하며 활용할 수도 있을 것으로 예상된다.

2.3.2 이동 표적에 대한 시뮬레이션

표적의 이동경로와 소노부이의 초기 위치는 Fig. 9와 같다. 표적은 남서방향으로 8노트 속력으로 이동한다고 가정한다.

이동 표적에 대한 표적 위치 추정 성능은 Fig. 10과 같다.

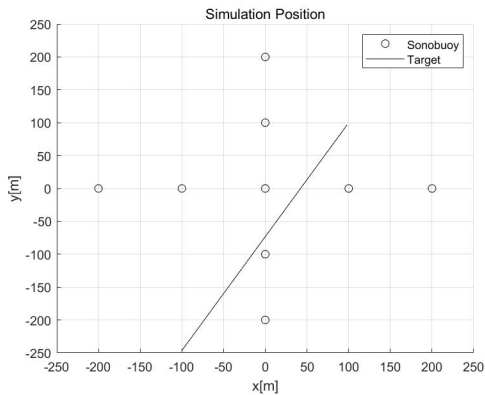


Fig. 9. Position of sonobuoy and target for simulation 2

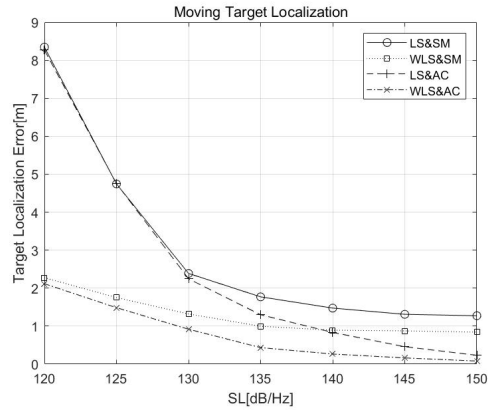


Fig. 10. Target localization error of simulation 2

표적의 이동경로가 소노부이의 방위각 오차가 증가하는 각도를 지나기 때문에 LS 기법과 WLS 기법의 성능차이가 더 심해졌다. 하지만 전체적인 양상은 고정표적을 이용한 시뮬레이션과 유사하며 WLS&AC 기법이 가장 적은 오차를 유발하였다.

2.3.3 무작위 표적에 대한 시뮬레이션

무작위 표적의 위치와 소노부이의 초기 위치는 Fig. 11과 같다. 표적은 매초마다 새로운 위치에 생성되었다.

무작위 표적에 대한 표적 위치 추정 성능은 Fig. 12와 같다. 전체적인 성능은 표적 위치에 상관없이 비슷한 양상으로 나타났다. 무작위 표적 시뮬레이션을 통해 WLS&AC 기법은 표적의 위치나 그에 따른 SNR 변화에 상관없이 우수한 성능을 보여주는 것으로 확인된다.

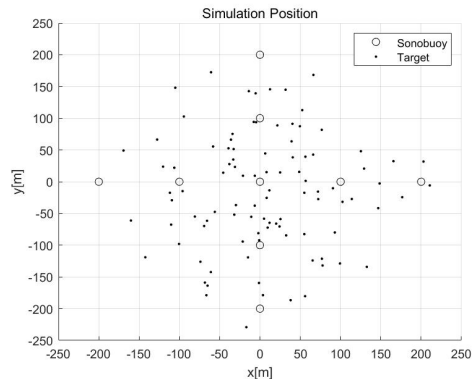


Fig. 11. Position of sonobuoy and target for simulation 3

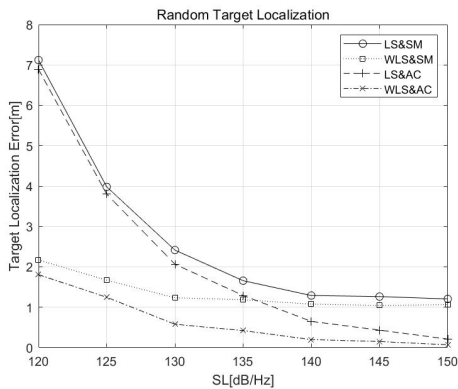


Fig. 12. Target localization error of simulation 3

3. 결론

본 논문에서는 DIFAR 소노부이 방위각 추정 기법을 분석하여 이를 계산하고 표적 위치 추정 기법에 활용함으로써 그 성능을 개선하였다. 또한, 해류로 인해 움직이는 소노부이의 위치를 DIFAR 소노부이보다 상대적으로 적은 개수인 GPS 장착 소노부이와 능동형 소노부이를 활용하여 표적 위치 추정 오차를 감소시켰다. 제안한 기법을 검증하기 위해 다양한 환경의 시뮬레이션을 수행하였으며 제안한 기법의 성능이 가장 우수함을 확인하였다. 추후에는 이 기법을 실전에서 사용 중인 소노부이에 적용하여 성능을 검증해볼 필요성이 있다.

References

[1] Richard O. Nielsen, *Sonar Signal Processing*, p.368, Artech House, 1991, pp.51-52.

[2] Desrochers J. Y. D., *High-resolution beamforming techniques applied to a DIFAR sonobuoy*, Master's thesis, Royal Military College of Canada, Canada, pp.9-10, 2000.

[3] VAGHEFI, Reza M., GHOLAMI Mohammad Reza, STRÖM, Erik G., "Bearing-only target localization with uncertainties in observer position", *2010 IEEE 21st international symposium on personal, indoor and mobile radio communications workshops*, IEEE, Istanbul, Turkey, pp. 238-242, Sept. 2010. DOI : <http://dx.doi.org/10.1109/PIMRCW.2010.5670370>

[4] Kaplan, Lance M., Qiang Le, N. Molnar, "Maximum likelihood methods for bearings-only target localization" *2001 IEEE International Conference on*

Acoustics, Speech, and Signal Processing, IEEE, Salt Lake City, USA, Vol. 5, pp.3001-3004, May 2001. DOI : <http://dx.doi.org/10.1109/ICASSP.2001.940281>

[5] Stansfield R. G., "Statistical theory of DF fixing", *Journal of the Institution of Electrical Engineers-Part IIIA: Radiocommunication*, Vol.94, pp.762-770, March 1947. DOI : <https://doi.org/10.1049/ji-3a-2.1947.0096>

[6] Gavish Motti, Anthony J. Weiss, "Performance analysis of bearing-only target location algorithms", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol.28, No.3, pp.817-828, July 1992. DOI : <http://dx.doi.org/10.1109/7.256302>

[7] Bishop, A. N., Anderson B. D., Fidan B., Pathirana P. N., Mao G, "Bearing-only localization using geometrically constrained optimization", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol.45, No.1, pp.308-320, January 2009. DOI : <http://dx.doi.org/10.1109/TAES.2009.4805281>

[8] KOREA HYDROGRAPHIC AND OCEANOGRAPHIC AGENCY, "KHOA Service", 2018.

[9] Ultra electronics maritime systems, "AN/SSQ-565 Multistatic low frequency active sonobuoy".

[10] Harris III Albert F., Michele Zorzi, "Modeling the underwater acoustic channel in ns2", *Proceedings of the 2nd international conference on Performance evaluation methodologies and tools*, ICST, Nantes, France, No.18, pp.18, October 2007. DOI : <http://dx.doi.org/10.4108/nstools.2007.2024>

[11] Tan, H. P., Diamant R., Seah W. K., Waldmeyer M., "A survey of techniques and challenges in underwater localization.", *Ocean Engineering*, Vol.38, pp.1663-1676, 2011. DIO : <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.07.017>

곽 상 열(Sang-Yell Gwak)

[정회원]



- 2017년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학부 (공학석사)
- 2017년 2월 ~ 2018년 12월 : 국방과학연구소 연구원
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국방기술 품질원 연구원

<관심분야>

신호처리, 국방과학