

논문 2014-51-2-18

해저 지형 정보를 이용한 다중 상태 소나의 표적 위치 측정 (Target Localization Using Underwater Objects in Multistatic Sonar)

이 광 희*, 서 익 수**, 한 동 석***

(Kwanghee Lee, Ik-Su Seo, and Dong Seog Han[©])

요 약

본 논문에서는 사전에 알고 있는 해저 지형정보를 이용하여 송수신기의 위치와 해저 음속의 정확성을 향상시켜 탐지 범위에 따른 오차에 강인한 위치 측정 알고리즘과 최적의 수신기 개수를 제안하고자 한다. 송수신기 위치, 음속정보의 정확도는 표적 위치 측정의 성능에 영향을 미치며, 송수신기는 GPS를 통해 위치 정보를 얻는다. 그러나 GPS 오차에 의해 여전히 오차를 가지고 있으며, 음속 정보는 수온을 포함한 다양한 요인들에 의해 영향을 받는다. 먼저 송수신기 위치 오차, 음속 오차의 영향을 수학적으로 분석하고 해저 지형 정보를 이용하여 오차를 줄일 수 있는 방법을 확인한다. 컴퓨터 모의실험을 통하여 기존의 알고리즘과 제안된 기법의 성능을 비교 평가하고, 탐지 범위에 따른 최적의 수신기 개수를 확인한다.

Abstract

This paper proposes a robust localization algorithm and optimal number of receivers considering the detection range of underwater targets. The accuracies of the source position, receiver position and sound velocity are improved using the known positions of underwater objects. The accuracies of these parameters influences the performance of the target localization error. Although the source and receiver positions are obtained by the global positioning system (GPS), there are still positional errors due to GPS and variations in sea temperature. First, the influence of those errors are analyzed mathematically and an algorithm is improved to improve the accuracies of source position, receiver position and sound velocity by using geographic points. The performance of the proposed scheme is evaluated in comparison with the conventional algorithm by computer simulations.

Keywords : Sonar, Localization, Geographic Information, Underwater Target

I. 서 론

수중 탐지 시스템에서 사용되는 소나는 크게 능동 소나 시스템과 수동 소나 시스템으로 분류된다.^[1-3] 능동 소나는 수신기와 송신기의 구성 방법에 따라 단상태 소

나(monostatic sonar), 양상태 소나(bistatic sonar), 다중상태 소나(multistatic sonar)로 나누어진다. 단상태 소나는 송수신기의 위치가 동일하므로, 능동 신호로 인해 은밀성에 있어 운용의 제약을 받을 수 있다. 또한 최근 잠수함은 조선/통신전자 분야에 대한 기술 발전으로 방사소음이 감소하고, 정속화가 진행되어 기존 단상태 소나를 이용한 탐지는 어려워지고 있다. 이를 해결하기 위하여 선진해군에서는 공간상으로 분리된 송수신기를 사용하는 양상태 소나를 기반으로 여러 개의 송수신기를 이용하는 다중 상태 소나를 활발히 연구 중에 있다.^[4]

다중상태 소나는 송신기와 여러 개의 수신기를 이용하는 소나 체계이다. 여러 개의 수신기를 이용하여 넓은 영역의 탐지가 가능하고, 송신기와 분리된 수신기는

* 학생회원, *** 정회원, 경북대학교 전자공학부 (Kyungpook National University)

** 정회원, 국방과학연구소

(Agency for Defense Development)

Corresponding Author(E-mail: dshan@knu.ac.kr)

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2013-H0401-13-1005).

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 대해 깊이 감사를 드립니다 (계약번호 UD130007DD).

접수일자: 2013년8월13일, 수정완료일: 2014년2월3일

음원을 회피하는 잠수함의 탐지 확률을 증가시킬 수 있는 장점을 가진다.

그러나 수중 환경 및 소나의 특성에 따른 표적 탐지 측정 오차가 발생한다. 정밀한 표적의 위치 측정을 위하여 GPS(global positioning system)를 이용하여 송신기와 수신기의 위치를 미리 알고 있지만, GPS 오차, 조류의 흐름 및 수온 등에 의해 여전히 위치 오차가 존재한다. 송수신기의 위치, 음속, 송신기-수신기-표적 사이의 각인 분할각의 정확한 측정 정보는 표적 위치 측정 성능에 영향을 미친다. 이러한 표적 위치 측정은 송신기-표적-수신기 사이의 기하학적 관계에 매우 의존한다. 그러나 다수의 송수신기를 이용함으로써 이 의존은 완화될 것이고, 다수의 송신기-수신기들을 이용하여 융합함으로써 하나의 수신기만을 사용할 때보다 표적 위치 측정 오차가 작아지게 된다.

기존의 논문에서는 해저 지형을 이용하여 송수신기 위치 오차, 음속 오차를 최소화 시키려는 연구를 진행하였다. 그러나 수신기가 측정할 시간 오차, 즉 수신기의 관측 시간 오차를 고려하지 않았으며, 양상태 소나에 대한 연구만을 진행 하였다.^[5,6] 본 논문에서는 수신기 관측 시간오차를 고려한 송수신기 위치 오차, 음속 오차를 적용하여, 다중 상태 소나에 적용시키고자 한다. 또한 각 수신기에서 측정된 개선된 표적 위치 정보를 융합하여 탐지 범위에 따른 최적의 수신기 개수를 도출한다.

서론에 이어 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 양상태 소나의 기본 구조와 표적 탐지 기법에 대해 제시한다. III장에서는 각 수신기에서 측정된 표적 정보를 융합하여 다중 상태 소나의 표적 측정 오차를 분석한다. IV장에서는 해저 지형을 이용한 표적 탐지 방법에 수신기의 관측 시간 오차를 고려하고자 한다. 이어 V장에서는 제안된 기법을 바탕으로 모의실험을 수행하였으며, VI장에서 결론을 맺는다.

II. 양상태 소나

양상태 소나는 송신기와 수신기가 분리되어 있으며 그림 1과 같은 기하학적 구조를 가진다. S, T, R은 각각 송신기(Source), 표적(Target), 수신기(Receiver)를 나타내며, 송신기와 수신기는 고정되어 있다. 송신기와 표적, 표적과 수신기의 거리 합($R_S = R_1 + R_2$)과 송신기, 수신기 표적이 이루는 분할각(γ)을 측정하여 표적의 위치를 추정한다.^[2]

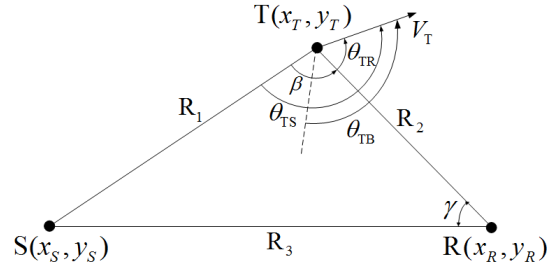


그림 1. 양상태 소나의 기하학적 구조

Fig. 1. Bistatic sonar geometry.

송신기와 표적, 표적과 수신기의 거리 합과 코사인 법칙을 이용하면 식 (1)로 정리 할 수 있다.

$$R_1^2 = R_2^2 + R_3^2 - 2R_2R_3\cos\gamma \quad (1)$$

여기서 γ 는 수신기 내부에서의 각 감지 알고리즘에 의해 얻을 수 있다. 식 (1)을 이용하여 R_2 에 대한 함수로 표현하면 다음과 같다.

$$R_2 = \frac{(c\tau)^2 - R_3^2}{2(c\tau - R_3\cos(\gamma))} \quad (2)$$

여기서 c 는 음속을 나타내며, $\tau = R_S/c$ 는 송신기에서 방사된 신호가 표적에 반사되어 수신기에서 측정할 시간이다. 양상태 소나는 공간상으로 분리된 송수신기를 사용하므로 수신기에서 측정된 표적 위치 (\hat{x}_T, \hat{y}_T)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{x}_T = \hat{x}_R + \hat{R}_2\cos(\pi - \hat{\gamma}) \quad (3)$$

$$\hat{y}_T = \hat{y}_R + \hat{R}_2\sin(\pi - \hat{\gamma}) \quad (4)$$

여기서 $\hat{\cdot}$ 는 측정값을 나타낸다. 식 (2), (3), (4)에서 볼 수 있듯이, 측정된 표적의 위치는 송수신기 위치 오차, 음속 오차, 분할각 오차를 포함하고 있음을 알 수 있다. 식 (3)과 (4)를 이용하여 표적 위치 측정 오차 분산을 구하면 다음과 같다.^[6]

$$\begin{aligned} \sigma_{\hat{x}_T}^2 &= \sigma_{\hat{x}_R}^2 - 2\sigma_{\hat{x}_R\hat{R}_2}\cos\hat{\gamma} + 2\sigma_{\hat{x}_R\hat{\gamma}}\hat{R}_2\sin\hat{\gamma} \\ &\quad - 2\sigma_{\hat{R}_2\hat{\gamma}}\hat{R}_2\cos\hat{\gamma}\sin\hat{\gamma} + \sigma_{\hat{R}_2}^2\cos^2\hat{\gamma} \\ &\quad + \sigma_{\hat{\gamma}}^2\hat{R}_2^2\sin^2\hat{\gamma} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{\hat{y}_T}^2 &= \sigma_{\hat{y}_R}^2 - 2\sigma_{\hat{y}_R\hat{R}_2}\sin\hat{\gamma} + 2\sigma_{\hat{y}_R\hat{\gamma}}\hat{R}_2\cos\hat{\gamma} \\ &\quad + 2\sigma_{\hat{R}_2\hat{\gamma}}\hat{R}_2\cos\hat{\gamma}\sin\hat{\gamma} + \sigma_{\hat{R}_2}^2\sin^2\hat{\gamma} \\ &\quad + \sigma_{\hat{\gamma}}^2\hat{R}_2^2\cos^2\hat{\gamma} \end{aligned} \quad (6)$$

식 (5)와 (6)을 이용하여 표적의 x 축과 y 축 오차의 계산이 가능하다.

III. 다중 상태 소나

다중 상태 소나 시스템은 한 개 이상의 송신기와 두 개 이상의 수신기를 사용한다. 양상태 소나와는 달리 여러 개의 송신기와 수신기를 사용하기 때문에 수신 성능의 향상을 기대 할 수 있으며, 다수의 수신기의 정보를 융합함으로써 양상태 소나에 비해 측정 오차가 작아지게 된다. 다중 상태 소나는 음원과 수신기의 구성에 따라 3가지로 구분 될 수 있다. 먼저 1개의 송신기와 2 개 이상의 수신기, 그리고 2개 이상의 송신기와 1개의 수신기, 마지막으로 2개 이상의 송신기와 2개 이상의 수신기로 구성되어 있는 경우이다. 본 논문에서는 송신기 1개, 수신기 2개 이상인 경우에 대하여 다루며, 그림 2는 다중 상태 소나 시스템의 구성도이다.^[4]

다중 상태 소나의 측정 오차는 수신기에서 받은 정보를 융합하여 얻을 수 있다. 우선 2개의 수신기에서 측정치를 얻는다고 가정한다. 즉 2개의 수신기에서 얻은 각각의 측정치를 X_i 과 X_j 라고 하고, 각 측정값에 대한 분산을 $\sigma_{X_i}^2$ 과 $\sigma_{X_j}^2$ 라고 가정한다. 각 측정치 값에 대한 분산 값은 식 (5)과 (6)를 통해 얻을 수 있다. 2개의 수신기를 통해 얻은 측정치를 융합하면 다음과 같다.^[6]

$$\begin{aligned} \hat{X} &= X_i + \sigma_{X_i}^2 (\sigma_{X_i}^2 + \sigma_{X_j}^2)^{-1} (X_j - X_i) \\ &= \sigma_{X_j}^2 (\sigma_{X_i}^2 + \sigma_{X_j}^2)^{-1} X_i \\ &\quad + \sigma_{X_i}^2 (\sigma_{X_i}^2 + \sigma_{X_j}^2)^{-1} X_j \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 \hat{X} 는 2개의 수신기에 의해 융합된 표적의 위치이며, \hat{X} 의 기대값을 구하면 다음과 같다.

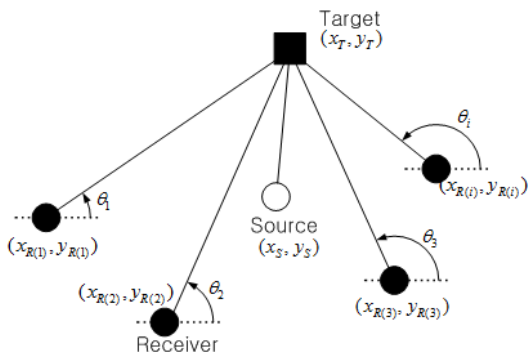


그림 2. 다중상태소나의 기하학적 구조
Fig. 2. Multistatic sonar geometry.

$$\begin{aligned} E[\hat{X}] &= \sigma_{X_j}^2 (\sigma_{X_i}^2 + \sigma_{X_j}^2)^{-1} E[X_i] \\ &\quad + \sigma_{X_i}^2 (\sigma_{X_i}^2 + \sigma_{X_j}^2)^{-1} E[X_j] \\ &= \sigma_{X_j}^2 (\sigma_{X_i}^2 + \sigma_{X_j}^2)^{-1} X \\ &\quad + \sigma_{X_i}^2 (\sigma_{X_i}^2 + \sigma_{X_j}^2)^{-1} X \\ &= X \end{aligned} \quad (8)$$

식 (9)와 (10)을 이용하여 융합된 위치 측정 공분산을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \sigma_{\hat{X}}^2 &= E[(\hat{X} - X)(\hat{X} - X)^T] \\ &= \sigma_{X_j}^2 (\sigma_{X_i}^2 + \sigma_{X_j}^2)^{-1} \\ &\quad \times E[(X_i - X)(X_i - X)^T] \times \\ &\quad (\sigma_{X_i}^2 + \sigma_{X_j}^2)^{-1} \sigma_{X_j}^2 + \sigma_{X_i}^2 (\sigma_{X_i}^2 + \sigma_{X_j}^2)^{-1} \\ &\quad \times E[(X_j - X)(X_j - X)^T] \\ &\quad \times (\sigma_{X_i}^2 + \sigma_{X_j}^2)^{-1} \sigma_{X_i}^2 \\ &= \sigma_{X_i}^2 (\sigma_{X_i}^2 + \sigma_{X_j}^2)^{-1} \sigma_{X_j}^2 \end{aligned} \quad (9)$$

그러므로 융합된 위치 측정 오차는 다음과 같다.

$$\hat{X} = X + n, n \sim N(0, \sigma_{X_i}^2 (\sigma_{X_i}^2 + \sigma_{X_j}^2)^{-1} \sigma_{X_j}^2) \quad (10)$$

여기서 n 은 오차를 나타낸다. 그러므로 여러 개의 수신기를 이용할 경우 위 융합 방법을 이용하여 위치 측정 오차의 계산이 가능하다.

IV. 해저 지형 정보를 이용한 표적 위치 탐지

수신기 위치 오차, 음속 오차의 영향에 의해 표적 위치 측정의 정확성이 낮아지기 때문에 표적 측정의 정확성을 높이기 위하여 기존 논문에서는 해저 지형도를 통해 사전에 알고 있는 해저 지형 정보를 이용하여 표적 측정 오차를 줄이는 알고리즘을 제안하였다.^[5] 그러나

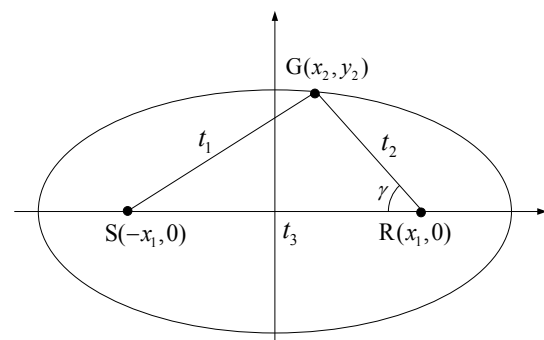


그림 3. 해저 지형 정보를 이용한 양상태 소나의 기하학적 구조
Fig. 3. Geometric structure of bistatic sonar using the geographic point.

송신된 신호를 받는 수신기는 관측 시간 오차가 존재하나 기존의 논문에서는 이 오차를 고려하지 않았기 때문에 실제 환경과는 차이가 있다. 그렇기 때문에 본 논문에서는 수신기 관측 시간 오차를 고려하여 실제 환경과 유사한 조건으로 모델링하여 실험을 진행하고자 한다. 그림 3은 해저 지형 정보를 이용한 양상태 소나의 기하학적 구조를 나타낸다. 해저 지형의 위치는 $G(x_2, y_2)$ 이며, 계산상 편의를 위하여, 송신기와 수신기의 위치를 $S(-x_1, 0)$, $R(x_1, 0)$ 으로 두었다.

G 는 알고 있는 해저 지형을 나타내며, 해저 지형에 의해 반사 경로로 전해지는 시간 t_1, t_2 와 송신기와 수신기의 직접 경로를 통해 전해지는 시간 t_3 는 다음과 같다.

$$t_1 = \frac{\sqrt{(x_2 + \hat{x}_1)^2 + y^2}}{\hat{c}} + \Delta t \tag{11}$$

$$t_2 = \frac{\sqrt{(x_2 - \hat{x}_1)^2 + y^2}}{\hat{c}} + \Delta t \tag{12}$$

$$t_3 = \frac{2\hat{x}_1}{\hat{c}} + \Delta t \tag{13}$$

식 (11), (12)와 (13)을 이용하여 정리하면 송수신기의 위치를 식 (14)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{x}_1 = \sqrt{\frac{2(x_2^2 + y_2^2)}{(4t_1^2 + 4t_2^2)/t_3^2 - 2}} + \Delta t \tag{14}$$

여기서 \hat{c} 는 추정된 음속을 나타내며, Δt 는 수신기의 관측 시간 오차를 나타낸다.^[7] 수신기 관측 시간 오

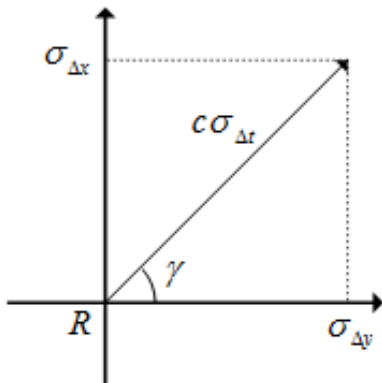


그림 4. 관측 시간 오차에 의한 송수신기의 x 축과 y 축의 표준 편차

Fig. 4. Source and receiver x -axis and y -axis error due to error of source and receiver timing.

차는 평균이 0인 가우시안 분포를 따른다. 수신기 관측 시간 오차의 표준 편차는 0.003초이고 음속은 1500m/s라고 가정하면, 음속의 표준편차는 4.5m/s이다.^[8] 송수신기의 x 축과 y 축의 표준 편차는 수신기에서 수신한 분할각, 음속 그리고 관측 시간 오차의 표준편차를 이용하여 구할 수 있으며 그림 4와 같다. 수신기는 관측 시간 오차가 발생하며 이 오차를 음속과 곱하면 거리에 대한 오차가 발생하게 된다. 이를 수신기에서 받은 분할각을 이용하여 x 축과 y 의 표준편차로 나타낼 수 있다.

식 (14)에서 볼 수 있듯이 송수신기의 위치 오차는 관측 시간 오차만 남아있게 되어 표적 탐지 위치 오차를 개선 할 수가 있다. 또한 음속 오차, 송수신기 위치 오차가 개선됨에 따라 식 (5)와 (6)의 $\sigma_{x_{R\hat{R}_2}}, \sigma_{x_{R\hat{r}}}, \sigma_{y_{R\hat{R}_2}}, \sigma_{y_{R\hat{r}}}$ 그리고 $\sigma_{R_2}^2$ 의 값이 개선됨을 알 수 있으므로 표적 위치 측정 오차가 개선됨을 알 수 있다.

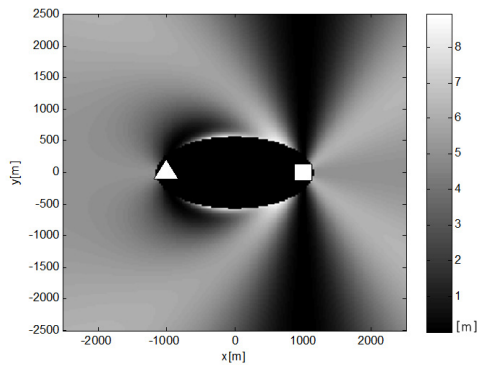
III. 모의실험 및 결과

본 장에서는 제안된 알고리즘의 표적 위치 측정의 정확성을 확인하기 위하여 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 그리고 해저 지형을 이용하지 않았을 경우와 비교 평가 하였다. 컴퓨터 모의실험 조건은 표 1과 같다.

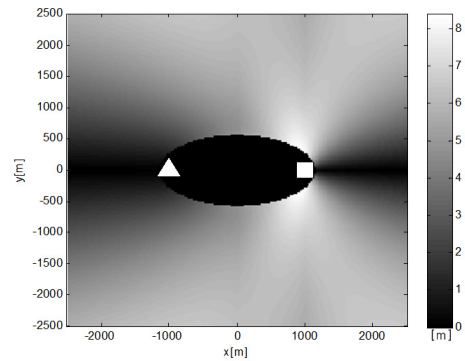
표적의 위치에 따른 측정치 오차의 분포를 확인하기 위하여 5,000m × 5,000m 안의 모든 가능한 표적의 위치를 고려하여 컴퓨터 모의실험을 진행하였다. 그리고 송신기에서 방사되는 음파의 파형은 CW(continuous wave)를 사용하였다. 표적의 위치에 따른 측정치 오차의 분포를 확인하기 위하여 모든 위치에서의 표적의 x 좌표와 y 좌표의 표준편차 값을 이용하였다. 또한 송신기에서 방사된 신호가 반사되지 않고 수신기에 바로 수

표 1. 컴퓨터 모의실험 조건
Table 1. Simulation condition.

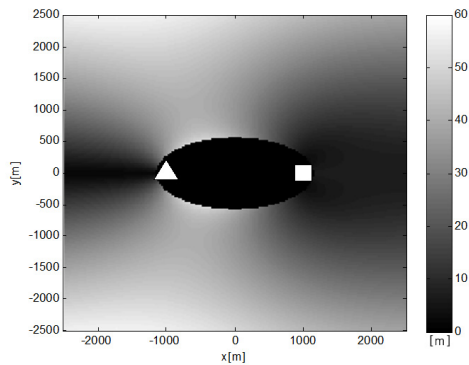
송신기 위치[m]	$\begin{bmatrix} x_s \\ y_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$
음파 속도[m/s]	$c = 1500$
방향각오차[deg]	$\gamma = 1$
음파속도 오차[m/s]	$\sigma_c = 7.5$
송신기 오차[m ²]	$\begin{bmatrix} \sigma_{x_s}^2 & \sigma_{x_s y_s} \\ \sigma_{x_s y_s} & \sigma_{y_s}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20^2 & 0 \\ 0 & 20^2 \end{bmatrix}$
수신기 오차[m ²]	$\begin{bmatrix} \sigma_{x_R}^2 & \sigma_{x_R y_R} \\ \sigma_{x_R y_R} & \sigma_{y_R}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 20^2 & 0 \\ 0 & 20^2 \end{bmatrix}$



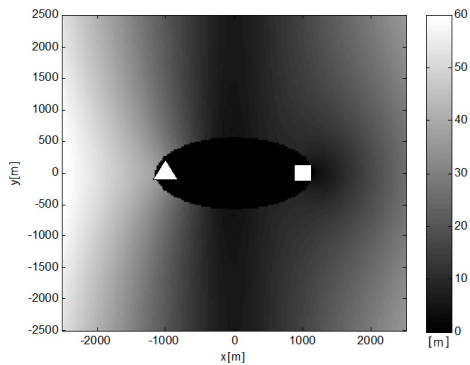
(a) 관측 시간 오차에 따른 x 축 표적 위치 측정 오차
(a) x -axis target measurement error according to the timing error.



(b) 관측 시간 오차에 따른 y 축 표적 위치 측정 오차
(b) y -axis target measurement error according to the timing error.



(c) 모든 오차를 고려한 x 축 표적 위치 측정 오차
(c) x -axis target measurement error according to the all errors.



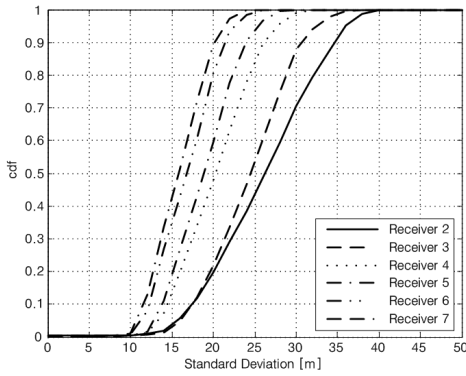
(d) 모든 오차를 고려한 y 축 표적 위치 측정 오차
(d) y -axis target measurement error according to the all errors.

그림 5. 표적 위치에 따른 표적 위치 측정 오차
Fig. 5. Target localization error due to target position.

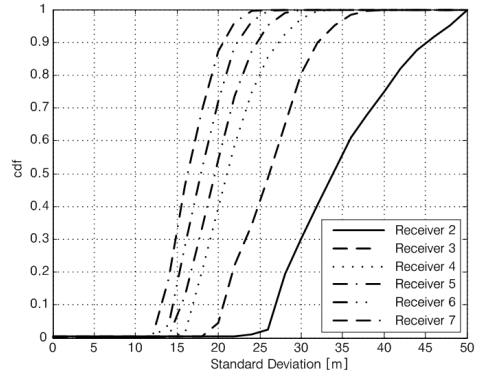
신되는 신호인 직접 반사파(direct blast) 신호에 대하여 마스킹을 적용하여, 표적이 송신기와 수신기 사이에 있을 경우 표적의 탐지가 불가능하다.^[9] 그림 5의 (a)와 (b)는 송신기가 (-1000m, 0) 수신기가 (1000m, 0) 일 때 관측 시간 오차만을 고려한 표적 위치 측정 오차를 표준편차로 나타내었으며, (c)와 (d)는 음속오차, 방향각 오차, 송수신기 위치 오차, 관측 시간 오차를 고려하였을 때 표적 위치 측정 오차를 표준 편차로 나타내었다. 표적이 송신기와 수신기에서 멀어질수록 표적 위치 측정 오차는 점점 더 커지는 것을 알 수 있으며 특히 송신기 쪽 보다는 수신기 바깥쪽 주변의 위치 측정 오차가 상대적으로 크음을 알 수 있다.

그림 6은 탐지영역에서 표적 추정 위치의 표준편차를 누적 분포 함수로 나타낸 것이다. 이를 통해 다중 상태 소나에서 수신기 개수에 따른 표적의 위치 측정 오

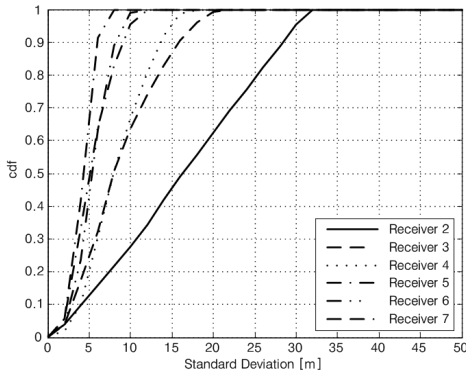
차를 알 수 있다. 음속오차, 방향각 오차, 송수신기 위치 오차, 관측 시간 오차를 고려하였으며, 송신기의 위치는 (0, 0)이며 수신기는 송신기에서 1000m 떨어진 거리에 등 간격으로 원형 배치를 하여 실험하였다. 그림 6은 수신기 관측 시간 오차를 고려하여 탐지 범위 (5,000m × 5,000m)에서 수신기 개수에 따른 표적 위치 측정 오차를 x 축과 y 축의 누적 분포 함수로 나타내었다. 해저 지형을 이용하여 송수신기 위치 오차, 음속 오차를 개선 할 경우 해저 지형을 이용하지 않을 경우보다 오차가 개선됨을 알 수 있다. 해저 표적의 길이를 80m로 가정한 경우, 표적의 위치 측정 오차의 표준 편차가 약 15m이면 약 95%의 확률로 탐지가 가능하다.^[6] 그러므로 가로, 세로 5km의 탐지 영역에서 해저 지형을 이용할 경우 최적의 수신기 개수는 5개임을 알 수 있다. 그러나 해저 지형을 이용하지 않을 경우, 7개의 수



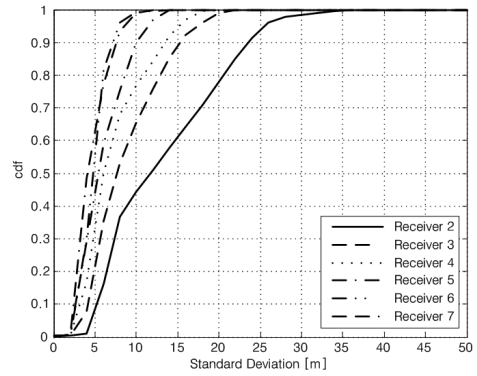
(a) 해저 지형 미사용 시 표적 위치 측정 x 축 오차 표준 편차의 누적 분포 함수
 (a) Cumulative distribution function of the standard deviation of x -axis measurement error when the geographic point is not used.



(b) 해저 지형 미사용 시 표적 위치 측정 y 축 오차 표준 편차의 누적 분포 함수
 (b) Cumulative distribution function of the standard deviation of y -axis measurement error when the geographic point is not used.



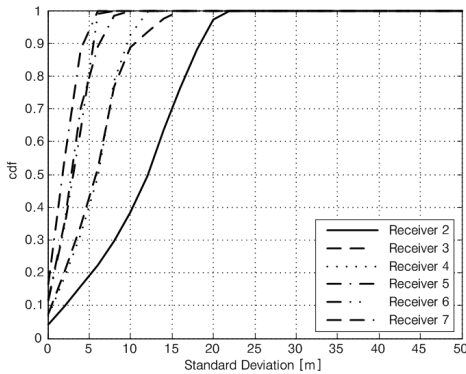
(c) 해저 지형 사용 시 표적 위치 측정 x 축 오차 표준 편차의 누적 분포 함수
 (c) Cumulative distribution function of the standard deviation of x -axis measurement error when the geographic point is used.



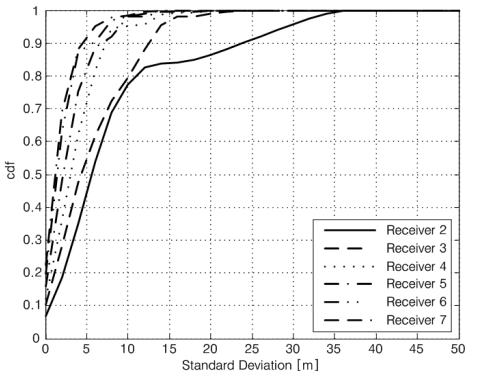
(d) 해저 지형 사용 시 표적 위치 측정 y 축 오차 표준 편차의 누적 분포 함수
 (d) Cumulative distribution function of the standard deviation of y -axis measurement error when the geographic point is used.

그림 6. 수신기 개수에 따른 표적 측정 위치 오차 표준편차의 누적 분포 함수

Fig. 6. Cumulative distribution function of the standard deviation of target localization error due to the receiver number.



(a) x 축 표적 위치 측정 오차 표준 편차의 누적 분포 함수
 (a) Cumulative distribution function of the standard deviation of x -axis measurement error.



(b) y 축 표적 위치 측정 오차 표준 편차의 누적 분포 함수
 (b) Cumulative distribution function of the standard deviation of y -axis measurement error.

그림 7. 탐지 영역이 3km×3km일 때 수신기 개수에 따른 표적 위치 측정 오차 표준편차의 누적 분포 함수

Fig. 7. Cumulative distribution function of the standard deviation of target localization error due to the receiver number when detection range is 3km×3km.

신기로도 표적의 탐지확률은 매우 낮음을 알 수 있다.

그림 7은 가로, 세로 3km 탐지 영역에서 해저 지형을 이용할 경우 탐지영역에서 표적 추정 위치의 표준편차를 누적 분포 함수로 나타낸 것이다. 이는 수신기 개수에 따른 표적의 위치 측정 오차를 보여준다. 탐지영역이 가로, 세로 5km 일 때와는 달리 해저 지형을 이용할 경우 원형 배치의 최적 수신기 개수는 3개임을 알 수 있다.^[6]

VI. 결 론

양상태 소나는 송수신기의 위치 오차, 수신기에서 측정된 방향각 오차, 음속 오차에 의해 표적의 측정오차가 발생한다. 그러므로 표적 위치 측정 오차는 이 오차에 영향을 받는다. 해저 지형을 이용하여 송수신기 위치 오차, 음속 오차를 최소화 할 수 있는 알고리즘을 제안하였으나 수신기 관측 시간 오차를 고려하지 않았다. 본 논문에서는 수신기 관측 시간오차를 고려하였으며, 사전에 알고 있는 해저 지형을 이용 하면 표적 위치 측정 오차는 감소됨을 확인하였다. 이를 이용하여 탐지 범위에 따른 최적의 수신기 개수를 제안하였다.

REFERENCES

- [1] Won Tcheon Oh "Sonar Signal Processing Technology", *The Magazine of the IEEK*, vol. 20, no. 10, pp. 1116-1127, Nov. 1993.
- [2] H. Cox, "Fundamentals of Bistatic Active Sonar", *NATO Underwater Acoustic Data Processing*, Kingston, ON, Canada, Jul. 1988.
- [3] R. J. Urick, *Principles of Underwater Sound*, 3rd Edition, McGraw-Hill Inc., 1983.
- [4] S. Kim, B. Ku, W. Hong and H. Ko "Performance Comparison of Target Localization for Active Sonar Systems", *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 44, no. 4, pp.1371 - 1380, Oct. 2008.
- [5] D. H. Lee, T. J Jung, K. K. Lee and M. Hyun "Source Information Estimation Using Enemy's Single-Ping and Geographic Information in Non-cooperative Bistatic Sonar", *Sensor Journal*, IEEE, vol.12, pp.2784-2790, Sep. 2012.
- [6] S. Coraluppi, "Multistatic Sonar Localization," *IEEE J. Ocean. Eng.*, vol. 31, no. 4, pp. 964-974, Oct. 2006.
- [7] D. Grimmer "Specular-cued Multistatic Sonar Tracking on the SEABAR07 Dataset", *Proc. 12th Int. Conf. Inf. Fusion*, pp.1576-1583 2009

- [8] D. Grimmer, "Multistatic Target Tracking using Specular Cue Initiation and Directed Data Retrieval," *Proc. 11th Int. Conf. Inf. Fusion*, pp.1799-1806, 2008.
- [9] E. J. Jang, D. S. Han "Performance Improvement of Localization for Active Sonars", *Proc. 18th Asia-Pacific Conf. on Communications (APCC)*, pp.722 - 723, 2012.

저 자 소 개



이 광 희(학생회원)
2007년 경북대학교
전자전기컴퓨터학부 공학사
2007년 1월~2011년 1월
LG전자 연구원
2014년 경북대학교 대학원
전자공학부 공학석사
2014년 1월~현재 퍼스텍 선임연구원
<주관심분야 : 수중음향신호처리, 소나 표적 탐지>



서 익 수(정회원)
1999년 명지대학교 전자전기
공학과 졸업.
2001년 연세대학교 전기컴퓨터
공학과 석사 졸업.
2001년 1월~현재 국방과학연구소
선임연구원
<주관심분야 : 수중음향신호처리, 소나 표적 탐지 및 추적, 표적 식별>



한 동 석(정회원)
1987년 경북대학교
전자공학과 공학사
1989년 KAIST 전기 및
전자공학과 공학석사
1993년 KAIST 전기 및
전자공학과 공학박사
1987년 10월~1996년 8월 삼성전자 기술총괄
신호처리 연구소 선임연구원
1996년 8월~현재 경북대학교 전자공학부 교수
2006년 7월~2008년 7월 정보통신연구진흥원
디지털 TV/방송사업단 단장
<주관심분야 : 통신신호처리, 지능형 교통시스
템>