

근접 센서의 방위정보를 이용한 수중표적 예상위치 추정 기법

최영두^{*1)} · 김정훈¹⁾ · 윤경식²⁾ · 서익수³⁾ · 이동훈⁴⁾ · 이균경¹⁾

¹⁾ 경북대학교 전자공학부

²⁾ 김천대학교 언어치료학과

³⁾ 국방과학연구소 소나체계개발단

⁴⁾ LIG넥스원(주) 구미연구소 기술 6팀

Position Estimation of Underwater Target Using Proximity Sensor with Bearing Information

Young-Doo Choi^{*1)} · Jung-Hoon Kim¹⁾ · Kyung-Sik Yoon²⁾ ·
Ik-Su Seo³⁾ · Dong-Hun Lee⁴⁾ · Kyun-Kyung Lee¹⁾

¹⁾ *Development of Electronics Engineering, Kyungpook National University, Korea*

²⁾ *Development of Speech Therapy, Gimcheon University, Korea*

³⁾ *SONAR Systems PEO, Agency for Defense Development, Korea*

⁴⁾ *Gumi R&D Center Tech-6, LIG Nex1 Co., Ltd., Korea*

(Received 17 December 2013 / Revised 18 April 2014 / Accepted 13 June 2014)

ABSTRACT

Proximity sensor networks are aimed at estimation kinematic state of target using estimated position of the target by each sensor node or target parameter. To analyze the kinematic state of target, traditional approaches require detections on multiple sensors, very large number of sensors to achieve acceptable performance. In this paper, we propose a novel method which can estimate predicted position of the underwater target using minimum proximity sensor with bearing information to this problem. The proposed algorithm was verified performance through simulation.

Key Words : Proximity Sensor(근접 센서), Estimation Predicted Position of Target(표적 위치 추정)

1. 서론

수중감시체계는 수상이나 수중으로 접근하는 수중

표적을 조기에 탐지하여 대응함으로써 주요 항만시설을 보호하기 위한 체계이다¹⁾. 운용개념은 항공기, 수상함, 잠수함 등의 플랫폼에 탑재된 음탐기 또는 해저에 설치된 센서를 이용하여 표적을 탐지한다. 수중전의 패러다임이 대양에서 비교적 소음이 큰 수중 표적을 탐지하던 기존 목적에서 배경소음이 높은 연안 해

* Corresponding author, E-mail: chdodo@hanmail.net
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

역에서 비교적 조용한 수중 표적을 탐지하는 것으로 변함에 따라 수중감시체계에서 연안 해역에서 이점이 있는 수중 센서에 대한 중요도가 증가하고 있다^[2]. 기존 수중 센서를 이용한 표적 탐지/추적 기법에는 바이너리 센서를 이용한 기법, 포락선 CPA(Closest Point Approach) 기법, 내부교점과 외부교점을 이용한 궤적 탐색 기법 등이 제안되었다.

바이너리 센서를 이용한 기법에서 센서 모델은 센서 출력이 비탐지 “0”과 탐지 “1”로 구성된 아주 한정된 정보를 이용한다. 바이너리 센서를 이용한 표적 추적은 기본적으로 센서 노드와 융합 센터로 구성되는데 각각의 바이너리 센서 노드들은 측정정보(“0” or “1”)를 융합 센터로 전송하고 융합 센터는 각 센서 노드들의 측정정보들을 융합하여 표적을 탐지/추적하게 된다. 바이너리 센서를 이용한 표적 위치 기법에서 Zijian 등은 cooperative 표적 추적 기법^[3]을, Petar 등은 파티클 필터링(particle filtering) 기법을 적용한 표적 추적 기법^[4]을, Javed 등은 바이너리 센서의 geometry 모델에 기초한 표적의 위치/속도 정보를 추정하는 기법^[5]을 제안하였다. 이와 같은 기법들은 제한된 정보에서 표적 운동을 분석하기 위하여 기본적으로 많은 수를 센서를 필요로 하며 표적 추정 오차를 줄이기 위해서는 더욱 더 많은 수의 센서를 필요로 한다.

포락선 CPA 기법은 표적 신호가 센서에 다가오고 멀어질 때 발생하는 에너지 변화를 이용하여 표적 운동 상태를 추정할 수 있는 파라미터를 찾는 기법이다^[6]. CPA 과정 동안의 정보를 통합적으로 이용하므로 순간 에너지 정보를 이용하는 방법에 비하여 측정오차를 감소시킬 수 있다. 바이너리 센서 정보(“0”과 “1”)뿐만 아니라 거리(d)와 속도(v)의 비($d/v = r$)가 추정이 가능하지만, 추정된 비를 이용해 표적의 위치를 추정하기 위해서는 몇 개의 센서가 동시에 표적을 탐지하거나 순차적으로 여러 번의 CPA 탐지 등 다수의 센서에 의한 탐지를 필요로 한다.

내부교점과 외부교점을 이용한 궤적 탐색 기법^[7]은 센서의 에너지 모델을 통해서 CPA시점에 얻은 파라미터의 비(d/v)를 이용하여 2개 센서 간의 순차적 탐지시 내부교점 또는 외부교점을 지나는 4개의 잠재경로가 있다는 원리를 바탕으로, 4개의 센서 노드에서 순차적으로 탐지시 4개 중 3개 센서 노드의 조합의 잠재경로(4개)를 중첩하여 가장 많은 잠재경로를 나타내는 경로로 표적경로를 추정한다. 표적 방위각 정보가 없기 때문에 최소 4개의 센서 노드에서 순차적으

로 탐지한 CPA 정보가 필요하다. 제안된 기법은 에너지를 측정하는 센서의 감도를 모두 동일하다고 가정하지만 수중에서는 주변소음에 따라 수신된 에너지의 변화가 심하며, 다수의 센서에 의한 탐지로 인하여 실제 경로 주위에 다수의 잠재경로가 발생하기 때문에 클러스터링 기법이 추가적으로 요구된다.

본 논문에서는 많은 수의 센서를 필요하거나, 센서 감도의 상이, 클러스터링 기법 필요 등의 문제점을 해결하기 위하여 근접 센서의 방위정보와 포락선 CPA 기법 등을 이용하여 탐지 횟수 최소화로 표적예상위치를 추정하는 기법을 제안한다.

2. 표적예상위치 추정 모델

센서 노드에서 표적을 탐지하였을 때 표적이 등속 직선 운동을 한다고 가정하는 경우 근접 센서의 위치 s , CPA 시점의 표적위치 $p(t_0)$, t 시점의 표적예상위치 $p(t)$ 는 Fig. 1의 기하학적 구조를 가진다.

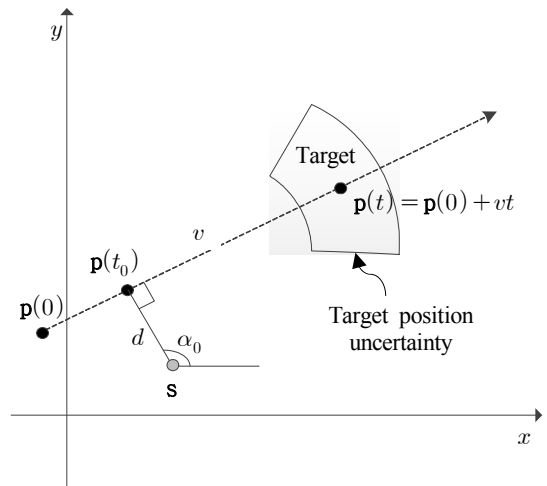


Fig. 1. Model of proximity sensor

여기서 d 는 CPA 시점의 표적과 센서의 거리, v 는 표적의 속도, α_0 는 CPA 시점의 센서에서 본 표적의 방향, t_0 는 CPA 시점을 의미하며, $p(0)$ 는 표적의 초기 위치, 빗금 친 부분은 추정 오차로 인해 발생하는 t 시점에서 표적의 위치 $p(t)$ 의 불확실성을 나타낸다. 이때 표적의 위치 $p(t)$ 는 표적의 방향이 d 에 수직인 관계를 이용하여 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{p}(t) = \mathbf{s} + \begin{bmatrix} d \cos \alpha_0 \\ d \sin \alpha_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v \sin \alpha_0 \\ -v \cos \alpha_0 \end{bmatrix} (t - t_0) \quad (1)$$

여기서 각 변수가 측정치로 주어지는 경우 추정된 표적 위치 $\hat{\mathbf{p}}(t)$ 는 식 (2)로 주어진다.

$$\hat{\mathbf{p}}(t) = \hat{\mathbf{s}} + \begin{bmatrix} \hat{d} \cos \hat{\alpha}_0 \\ \hat{d} \sin \hat{\alpha}_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{v} \sin \hat{\alpha}_0 \\ -\hat{v} \cos \hat{\alpha}_0 \end{bmatrix} (t - \hat{t}_0) \quad (2)$$

3. 표적예상위치 추정 기법

앞서 언급한 것처럼 한 번의 탐지시 포락선 CPA 기법을 통해서 거리와 속도의 비(d/v)를 추정할 수 있다. 추가적으로 도플러 탐지가 가능한 경우 포락선 CPA 기법을 바탕으로 주파수 변화량을 이용하여 근접 센서에서도 표적 파라미터 d, v 를 얻을 수 있다^[8]. 또한 DIFAR 소노부이 센서와 같은 간단한 구조의 지향성 센서를 이용하면 분해능은 높지 않지만 표적의 방위각 정보를 쉽게 얻을 수 있다.

본 논문에서는 방위정보를 얻을 수 있는 근접 센서를 이용하여, 도플러 탐지가 가능한 경우 한 개의 근접 센서정보(Case A)를, 도플러 탐지가 제한된 경우 두 개의 근접 센서정보(Case B)를 이용하여 표적예상위치 추정 기법을 제안한다.

3.1 한 개의 근접 센서정보를 이용한 표적 예상위치 추정(Case A)

한 개의 센서에서 한 번의 탐지 시 CPA 시점의 표적과 센서의 거리 d , 표적의 속도 v 를 얻기 위해서는 포락선 CPA 기법, 주파수 CPA 기법의 순차적인 신호 처리를 필요로 한다^[8].

포락선 CPA 기법은 수신된 에너지의 CPA 현상을 에너지 모델과 비교하여 표적의 운동상태를 추정하는 기법이다^[6]. 수신된 신호의 에너지는 표적과 수신원의 거리의 제곱에 반비례한다는 가정 하에 식 (3)과 같다.

$$P = \frac{\rho c S_0}{4\pi r^2} \propto \frac{1}{\left(\left(\frac{d}{v}\right)^2 + (t - t_0)^2\right)} \quad (3)$$

ρ : impedance of fluid(pa-s/m³)
 c : wave speed(m/s)

S_0 : initial projected power(J/s²)
 r : distance from point source(m)
 v : source velocity(m/s)
 t_0 : CPA time(s)
 d : CPA distance(m)

식 (3)에서 표적의 초기 에너지는 수신원에서 알 수 없으므로 CPA 시점(t_0)의 에너지로 정규화(normalize)하면 에너지 모델은 거리(d)와 속도(v)의 비에 관한 식으로 나타난다. 식 (3)에서 정규화된 에너지 모델은 d/v 에 관한 1차 함수로 나타나므로 관측모델과 에너지 모델을 최소화 하는 값은 식 (4)와 같은 1차원 탐색 알고리즘을 통해서 구할 수 있다.

$$\left[\frac{\hat{d}}{\hat{v}}\right] = \underset{(d/v)^*}{\operatorname{argmin}} \int_{t=0}^T \left[\tilde{f}(t) - f^*(t; (\frac{d}{v})^*)\right] \quad (4)$$

여기서 $f^*(t)$ 는 관측된 신호의 에너지 변화, $\tilde{f}(t)$ 는 모델 신호의 에너지 변화를 나타낸다.

주파수 CPA 기법은 표적의 도플러 변화를 측정하여 주파수 모델과 비교를 통해 운동 상태를 추정하는 기법으로 CPA 시점에서 음원의 속도 ≪ 음속으로 가정하면 주파수 변화는 식 (5)와 같다^[9].

$$f_t = f_0 \left[1 - \frac{v(t - t_0)}{c \sqrt{\left(\frac{d}{v}\right)^2 - (t - t_0)^2}} \right] \quad (5)$$

f_0 : original frequency(Hz)
 v : source velocity(m/s)
 c : wave speed(m/s)
 t_0 : CPA time(s)
 d : CPA distance(m)

식 (5)에 포락선 CPA 기법에서 구한 d/v 를 대입하고, t_0 는 포락선 CPA 기법의 에너지가 최고인 지점, $f_0 = f(t_0)$ 를 대입하면 식 (5)는 속도(v)에 관한 1차 함수로 표현되어 식 (6)과 같은 1차원 탐색을 통해 속도(v)가 추정된다. 이어서 거리(d)와 속도(v)의 비에서 거리 (d)가 추정된다.

$$[\hat{v}] = \underset{(v^*)}{\operatorname{argmin}} \int_{t=0}^T \left[\tilde{f}(t) - f^*(t; v^*)\right] \quad (6)$$

여기서 $f^*(t)$ 는 관측된 신호의 주파수 변화, $\tilde{f}(t)$ 는 모델 신호의 주파수 변화를 나타낸다.

Fig. 2는 한 개의 근접 센서가 표적을 탐지하고 표적 파라미터($\hat{\alpha}_0, \hat{t}_0$)가 측정치로, 표적 파라미터(\hat{d}, \hat{v})가 추정치로 주어지는 상황을 나타낸다. 센서의 위치(\hat{s})를 알고 있는 경우 포락선 CPA 기법과 주파수 CPA 기법에서 얻은 파라미터(\hat{d}, \hat{v})와 근접 센서의 방위정보($\hat{\alpha}_0$)를 이용할 때, 한 개의 센서정보를 이용한 표적 예상 위치 $\hat{p}_A(t)$ (Case A)는 식 (7)로 주어진다.

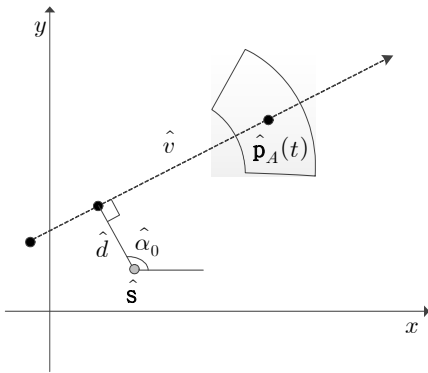


Fig. 2. Target position estimation using a sensor information(Case A)

$$\hat{p}_A(t) = \hat{s} + \begin{bmatrix} \hat{d}\cos\hat{\alpha}_0 \\ \hat{d}\sin\hat{\alpha}_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{v}\sin\hat{\alpha}_0 \\ -\hat{v}\cos\hat{\alpha}_0 \end{bmatrix} (t - \hat{t}_0) \quad (7)$$

3.2 두 개의 근접 센서정보를 이용한 표적 예상위치 추정(Case B)

일반적으로 수중표적이 속도가 느리거나 주파수 획득이 어려운 경우 표적의 도플러 탐지가 제한된다. 이 경우 주파수 CPA 기법을 이용하여 속도(v)를 얻을 수 없다. 두 개의 근접센서를 정보(측정치($\hat{s}_1, \hat{s}_2, \hat{t}_1, \hat{t}_2, \hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2$), 추정치($\hat{d}_1/\hat{v}_1, \hat{d}_2/\hat{v}_2$))를 알고 있는 경우에 표적이 등속운동을 한다고 가정하고, 각각의 근접 센서에서 추정된 CPA 시점 표적위치 $\hat{p}(\hat{t}_1), \hat{p}(\hat{t}_2)$ 사이의 거리를 시간 변화량($\hat{t}_2 - \hat{t}_1$)으로 나눈 값을 이용하면 표적의 속도(v)를 얻을 수 있다. 속도(v)를 얻게 되면 한 개의 센서정보를 이용한 표적예상위치추정(Case A)처럼 각 근접 센서에서 표적 예상위치를 추정할 수 있게 된다. 이 경우 두 개의 센서정보로부터 표적의

예상위치가 추정되므로 추가적으로 가중치를 이용한 융합으로 추정 성능을 향상시킬 수 있다.

Fig. 3은 두 개의 센서에서 각각 포락선 CPA기법에 의해서 얻은 표적의 거리(d)와 속도(v)의 비(d/v)를 추정치로, 방위를 측정치로 주어지는 상황을 나타낸다. 각 변수의 아래첨자의 1과 2는 센서번호를 의미한다. d_1/v_1 과 d_2/v_2 는 각각 r_1 과 r_2 로 정의하며 각각의 센서에서 표적이 CPA 위치시의 파라미터의 비(d/v)를 의미한다. 이때 각 센서에서의 CPA 시점 표적위치 $\hat{p}(\hat{t}_1), \hat{p}(\hat{t}_2)$ 는 파라미터의 비($r = d/v$)와 속도(v)로 표현할 경우 식 (8), (9)로 각각 주어진다.

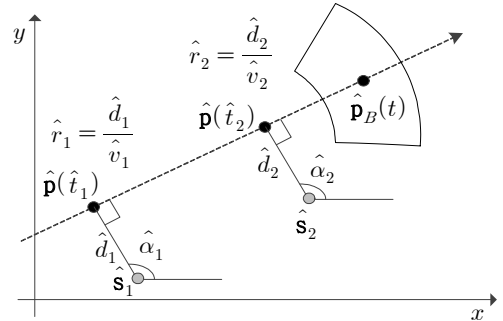


Fig. 3. Target position estimation using two sensor information(Case B)

$$\hat{p}(\hat{t}_1) = \hat{s}_1 + \begin{bmatrix} \hat{r}_1 \hat{v}_1 \cos \hat{\alpha}_1 \\ \hat{r}_1 \hat{v}_1 \sin \hat{\alpha}_1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\hat{p}(\hat{t}_2) = \hat{s}_2 + \begin{bmatrix} \hat{r}_2 \hat{v}_2 \cos \hat{\alpha}_2 \\ \hat{r}_2 \hat{v}_2 \sin \hat{\alpha}_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

여기서 \hat{v}_1 와 \hat{v}_2 는 추정된 값이 아니므로 두 센서의 정보를 이용해 방정식을 풀어서 추정해야 되는 값이다. 해를 구하기 위해 표적이 등속 운동을 한다고 가정하고 $\hat{v}_1 = \hat{v}_2 = \hat{v} = |\hat{v}| = \sqrt{\hat{v}_x^2 + \hat{v}_y^2}$ 로 주어지면 아래 두식 (10), (11)의 관계가 성립한다.

$$\hat{v} = \frac{\hat{p}(\hat{t}_2) - \hat{p}(\hat{t}_1)}{\hat{t}_d} \quad (10)$$

$$\hat{t}_d \begin{bmatrix} \hat{v}_x \\ \hat{v}_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{s}_{2x} \\ \hat{s}_{2y} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \hat{s}_{1x} \\ \hat{s}_{1y} \end{bmatrix} + \hat{v} \left[\hat{r}_2 \begin{bmatrix} \cos \hat{\alpha}_2 \\ \sin \hat{\alpha}_2 \end{bmatrix} - \hat{r}_1 \begin{bmatrix} \cos \hat{\alpha}_1 \\ \sin \hat{\alpha}_1 \end{bmatrix} \right] \quad (11)$$

여기서 $\hat{t}_d = \hat{t}_2 - \hat{t}_1$ 이다. 식 (11)은 식 (12)와 식 (13)으로 나눌 수 있다.

$$\hat{t}_d \hat{v}_x = \hat{s}_{2x} - \hat{s}_{1x} + \sqrt{\hat{v}_x^2 + \hat{v}_y^2} (\hat{r}_2 \cos \hat{\alpha}_2 - \hat{r}_1 \cos \hat{\alpha}_1) \quad (12)$$

$$\hat{t}_d \hat{v}_y = \hat{s}_{2y} - \hat{s}_{1y} + \sqrt{\hat{v}_x^2 + \hat{v}_y^2} (\hat{r}_2 \sin \hat{\alpha}_2 - \hat{r}_1 \sin \hat{\alpha}_1) \quad (13)$$

식 (12)와 식 (13)을 이용하여 \hat{v} 에 관한 식으로 나타내면 식 (14)를 얻는다.

$$\begin{aligned} \hat{t}_d^2 \hat{v}^2 &= (\hat{s}_{2x} - \hat{s}_{1x})^2 + (\hat{s}_{2y} - \hat{s}_{1y})^2 \\ &+ \hat{v}^2 [(\hat{v}_2 \cos \hat{\alpha}_2 - \hat{r}_1 \cos \hat{\alpha}_1)^2 \\ &+ (\hat{r}_2 \sin \hat{\alpha}_2 - \hat{\alpha}_1 \sin \hat{\alpha}_1)^2] \\ &+ 2\hat{v}[(\hat{s}_{2x} - \hat{s}_{1x})(\hat{r}_2 \cos \hat{\alpha}_2 - \hat{\alpha}_1 \cos \hat{\alpha}_1) \\ &+ 2\hat{v}[(\hat{s}_{2y} - \hat{s}_{1y})(\hat{r}_2 \sin \hat{\alpha}_2 - \hat{\alpha}_1 \sin \hat{\alpha}_1)] \end{aligned} \quad (14)$$

$$A\hat{v}^2 - 2B\hat{v} - C = 0$$

$$A \equiv \hat{t}_d^2 + (\hat{r}_2^2 + \hat{r}_1^2 - 2\hat{r}_1\hat{r}_2 \cos(\hat{\alpha}_2 - \hat{\alpha}_1)) \quad (15)$$

$$B \equiv (\hat{s}_{2x} - \hat{s}_{1x})(\hat{r}_2 \cos \hat{\alpha}_2 - \hat{r}_1 \cos \hat{\alpha}_1) + (\hat{s}_{2y} - \hat{s}_{1y})(\hat{r}_2 \sin \hat{\alpha}_2 - \hat{r}_1 \sin \hat{\alpha}_1)$$

$$C \equiv (\hat{s}_{2x} - \hat{s}_{1x})^2 + (\hat{s}_{2y} - \hat{s}_{1y})^2$$

$$\hat{v} = \frac{B + \sqrt{(B^2 + AC)}}{A} \quad (16)$$

식 (14)는 \hat{v} 에 관한 이차방정식이므로 식 (15)와 같이 정리된다. 해를 구하기 위해 이차방정식의 근의 공식을 이용하면 \hat{v} 값은 식 (16)으로 주어진다.

따라서 센서의 위치(s_1, s_2)를 알고 있는 경우 식 (16)에서 얻어진 추정 속도(\hat{v})와 식 (4)에서 추정된 파라미터의 비(\hat{r}), 측정된 방위각($\hat{\alpha}$)을 식 (2)에 대입하면 각 센서에서 추정된 시점 t 의 표적의 위치 $\hat{\mathbf{p}}_1(t)$, $\hat{\mathbf{p}}_2(t)$ 는 식 (17), (18)로 주어진다.

$$\hat{\mathbf{p}}_1(t) = \hat{\mathbf{s}}_1 + \begin{bmatrix} \hat{r}_1 \hat{v} \cos \hat{\alpha}_1 \\ \hat{r}_1 \hat{v} \sin \hat{\alpha}_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{v} \sin \hat{\alpha}_1 \\ -\hat{v} \cos \hat{\alpha}_1 \end{bmatrix} (t - \hat{t}_1) \quad (17)$$

$$\hat{\mathbf{p}}_2(t) = \hat{\mathbf{s}}_2 + \begin{bmatrix} \hat{r}_2 \hat{v} \cos \hat{\alpha}_2 \\ \hat{r}_2 \hat{v} \sin \hat{\alpha}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{v} \sin \hat{\alpha}_2 \\ -\hat{v} \cos \hat{\alpha}_2 \end{bmatrix} (t - \hat{t}_2) \quad (18)$$

두 개의 센서 정보를 이용한 표적예상위치 $\hat{\mathbf{p}}_B(t)$ ($= w_1 \hat{\mathbf{p}}_1(t) + w_2 \hat{\mathbf{p}}_2(t)$)는 $\hat{\mathbf{p}}_1(t)$ 과 $\hat{\mathbf{p}}_2(t)$ 를 융합하여 추정 오차를 줄인다. 여기서 가중치(w_1, w_2)는 \hat{r} 의 오차가 SNR에 반비례한다고 가정하고 SNR을 가중치로 적용할 경우 $\hat{\mathbf{p}}_B(t)$ (Case B)는 식 (19)와 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{p}}_B(t) &= \frac{\hat{r}_2^2 + (t - \hat{t}_2)^2}{\hat{r}_1^2 + (t - \hat{t}_1)^2 + \hat{r}_2^2 + (t - \hat{t}_2)^2} \hat{\mathbf{p}}_1(t) \\ &+ \frac{\hat{r}_1^2 + (t - \hat{t}_1)^2}{\hat{r}_1^2 + (t - \hat{t}_1)^2 + \hat{r}_2^2 + (t - \hat{t}_2)^2} \hat{\mathbf{p}}_2(t) \end{aligned} \quad (19)$$

4. 실험

제안된 기법을 확인하기 위해 모의실험을 통해서 한 개 및 두 개의 센서정보에 의한 표적예상위치 추정의 가능성을 확인하였으며, 표적 위치추정 시 필요한 파라미터의 추정성능을 확인하고자 해상실험을 실시하였다.

4.1 모의실험

제안된 기법을 확인하기 위해 Fig. 4와 같은 조건에서 모의실험을 수행하였다. 표적은 5kts의 속도로 x 축을 기준으로 10° 방향으로 등속운동을 한다고 가정하고 25분 후의 표적 위치를 투영하였다. 그 외 측정치의 오차를 고려하기 위해 아래 사항을 가정하고 몬테카를로(Monte Carlo)실험을 10000회 수행 하였다. 또한 표적속도 및 위치추정시간 변화에 따른 식 (20)으로 정의한 RMSE값으로 나타내었다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{10000} \sum_{k=1}^{10000} ((x - \hat{x}_k)^2 + (y - \hat{y}_k)^2)} \quad (20)$$

여기서 (x, y) 는 t 시간 후의 표적위치, (\hat{x}_k, \hat{y}_k) 는 추정된 표적예상위치를 나타낸다.

1. 파라미터 비 \hat{r}_0 는 20%의 오차를 가지는 균등분포(uniform distribution)를 적용하였다.
2. 센서의 위치 $\hat{\mathbf{s}}_0$ 는 반지름이 25m인 원안에서 균등분포를 적용하였다.

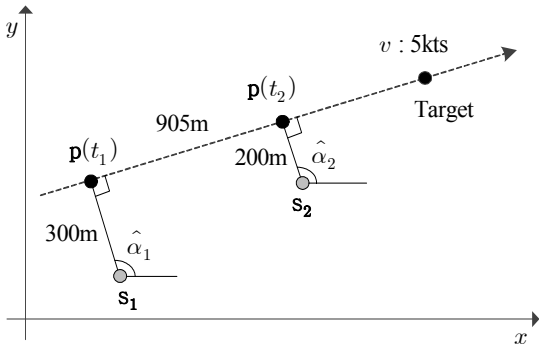


Fig. 4. The simulation conditions

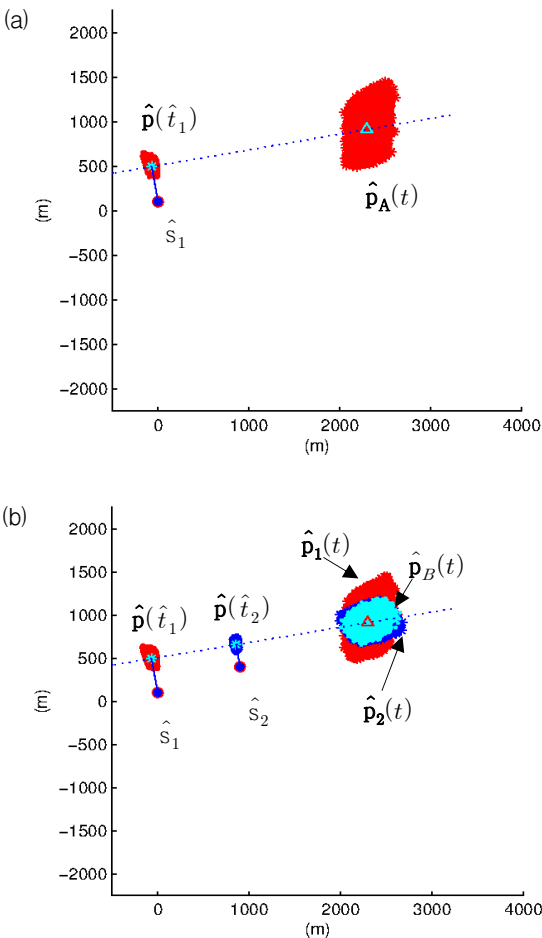


Fig. 5. The simulation results of (a) estimated target position using a sensor information(Case A) and (b) estimated target position using two sensor information(Case B)

3. 표적 방위각 $\hat{\alpha}_0$ 는 DIFAR 센서의 바이어스 오차 (3°)를 갖는 균등분포를 적용하였다.
4. CPA시점 \hat{t}_0 는 탐지시간오차(5초)를 갖는 균등분포를 적용하였다.

Fig. 5는 Case A(한 개의 센서정보를 이용), Case B(두 개의 센서 정보를 이용)에서 25분 후의 표적예상 위치를 투영한 결과이다. 붉은 영역은 센서 s_1 에서 추정된 $\hat{p}(\hat{t}_1)$ 와 $\hat{p}_1(t)$ 를 나타내며 파란 영역은 센서 s_2 에서 추정된 $\hat{p}(\hat{t}_2)$ 와 $\hat{p}_2(t)$ 을 나타낸다. 그리고 청록색 영역은 두 측정치를 결합한 결과이다. 실험 결과는 서로 다른 경우를 고려하였으므로 직접적인 비교는 힘들며, Case B에서 $\hat{p}_1(t)$ 가 $\hat{p}_2(t)$ 에 비하여 넓게 나타난 것은 시간지연에 따른 불확실영역이 커지기 때문이다. 두 개의 센서정보를 결합하였을 때가 한 개의 센서 정보를 이용하였을 때 보다 더 나은 결과가 주어짐을 확인하였다.

Fig. 6은 Case A, B를 각각 표적속도 5, 10, 15kts에서 30분 동안의 RMSE 분석 결과이다. 5kts를 기준으로 Case A에서 5분 후 센서 CPA를 통과시에, Case B에서는 10분 후 2번 센서 CPA를 통과시에 상대적으로 낮은 RMSE를 나타냈다. Case B가 Case A보다 RMSE가 낮게 나타남을 확인하였다. 표적 속도가 상대적으로 높거나 시간지연이 증가할수록 RMSE가 높게 나타나는 것은 속도 또는 시간지연이 증가할수록 표적의 불확실 영역이 커지기 때문이다.

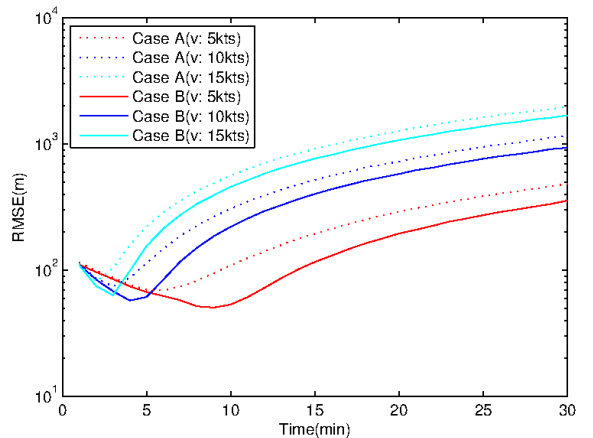


Fig. 6. RMSE according to the speed and time delays (Case A, B)

4.2 해상실험

DIFAR 센서 모듈을 사용하여 여객선 항로인 경상남도 통영시 용남면 장평리 3km 떨어진 지점에서 해상 실험을 실시하였다. 센서는 수심 22m 해저에 닿을 이용해 고정되어 있고 데이터 케이블을 연결해 해상에 있는 배에서 데이터를 획득하였다. 항로를 따라 여객선이 센서 주위를 지나가면 데이터 케이블을 통해 데이터가 저장된다. 여객선의 이동경로 중 센서와 가장 가까운 거리는 약 250m이고 속도는 12kts(6m/s)이다. CPA에서 여객선의 거리와 속도는 여객선에 장착되어 있는 AIS(Automatic Identification System)로 수신 받은 정보이다. 해상실험 결과는 Table 1과 같으며, 포락선 CPA 기법으로 여객선의 파라미터 비(d/v)값을 추정하면 39.7s가 추정되며 주파수 CPA 기법으로 v 값은 5.68m/s가 추정된다. 이에 d 값은 225.5m로 추정된다. Fig. 7과 Fig. 8은 각각 획득한 신호의 시간파형과 스펙트로그램을 나타낸다. Fig. 9는 측정된 신호의 에너지에 대한 Matlab의 피팅함수를 이용한 포락선 CPA 결과이며, Fig. 10은 측정된 신호의 주파수에 대한 Matlab의 피팅함수를 이용한 주파수 CPA 결과를 나타낸다. AIS로 획득한 정보(CPA에 위치한 여객선의 속도 6m/s와 거리 250m)에 비하여 근사한 값을 산출했다.

Table 1. The results of experiment on the sea

	AIS 정보	추정값
CPA 속도(v)	6 [m/s]	5.68 [m/s]
CPA 거리(d)	250 [m]	225.5 [m]

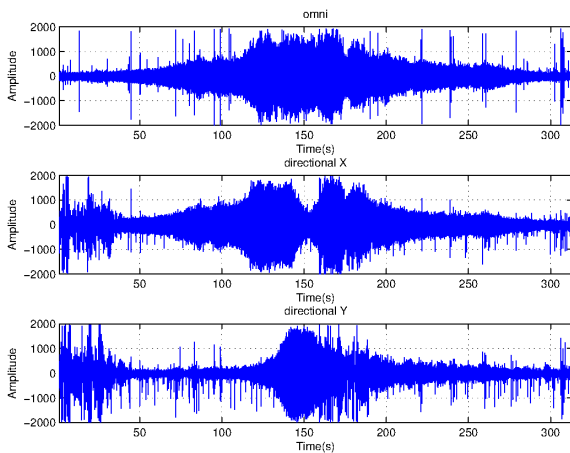


Fig. 7. The signal waveform of experiment on the sea

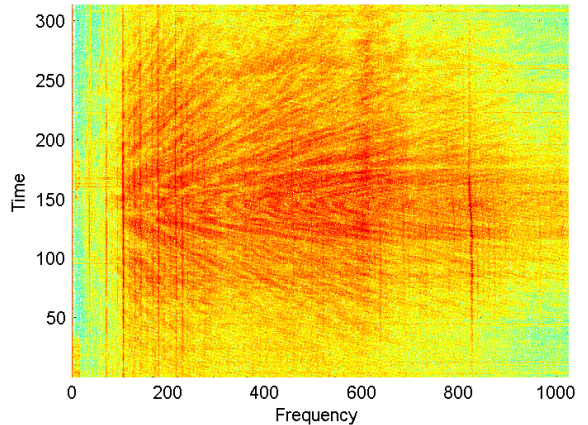


Fig. 8. The signal spectrogram of experiment on the sea

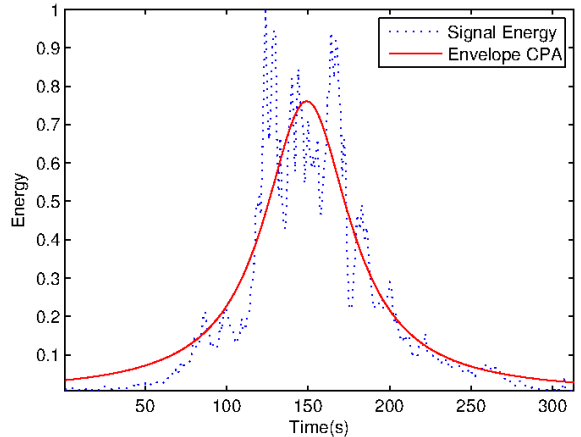


Fig. 9. The envelope CPA algorithm

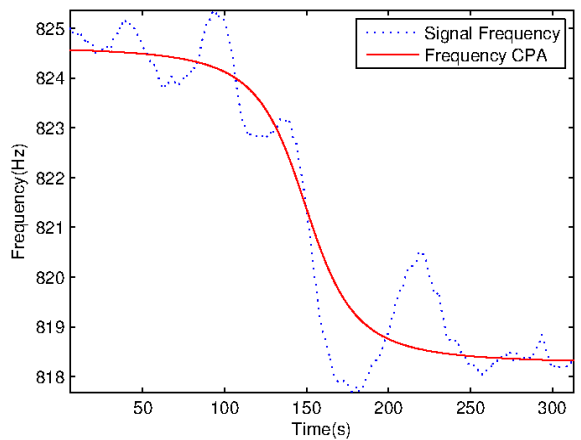


Fig. 10. The frequency CPA algorithm

5. 결론

본 논문에서는 방위각 정보와 탐지 횟수 최소화로 표적예상위치 추정 기법을 제안하였으며, 해상실험과 모의실험을 통해 가능성을 확인하였다. 이 기법을 통해서 수중감시체계에서 근접 센서를 이용한 표적의 미래 위치 추정시 체계의 경량화와 비교적 정확하고 신속한 추정이 가능할 것으로 판단한다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다(계약번호 UD130007DD).

References

- [1] C. H. Choi, S. H. Lee, "Underwater Surveillance System Development Trend," *Defense & Technology*, Vol. 379, pp. 42-55, Oct. 2010.
- [2] K. K. Lee, T. J. Jung, K. K. Lee, "Signal Processing Paradigm in Underwater Sensor Networks," *The 1st Surveillance · Reconnaissance · Intelligence Semiannual*, p. 60, 2009.
- [3] Zijian Wang, Eyuphan Bulut, and Boleslaw K. Szymanski, "A Distributed Cooperative Target Tracking with Binary Sensor Networks," *Communications Workshops, 2008. ICC Workshops '08. IEEE International Conference on*.
- [4] Petar M. Djuric, Mahesh Vemula, Monica F. Bugallo, "Target Tracking by Particle Filtering in Binary Sensor Networks," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 56, No. 6, Jun. 2008.
- [5] Javed Aslam, Zack Butler, Florin Constantin, Valentino Crespi, George Cybenko, Daniela Rus, "Tracking a Moving Object with a Binary Sensor Network," *Conference on Embedded Networked Sensor Systems Archive Proceedings of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems Table of Contents*, Los Angeles, California, USA.
- [6] D. J. Pistacchio, E. Giannopoulos, A. Bruno, and J. Gouveia, "Automatic Detection and Localization with a Single Site Combined Acoustic and Magnetic Proximity Sensor," in *Proc. of UDT Europe 2007*, Naples, Italy, Jun. 2007.
- [7] Wettergren, T. A., Streit, R. L., Shore, J. R., "Tracking with Distributed Sets of Proximity Sensors using Geometric Invariants," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 40, No. 4, pp. 1366-1374, Oct. 2004.
- [8] T. J. Jung, J. G. Nam, C. S. Ryu, I. I. Kim, K. K. Lee, "Velocity and Range Estimation using Hierarchical Closest Point Approach," *The Acoustical Society of Korea Semiannual*, Vol. 28, No. 1, pp. 364-367, 2009.
- [9] B. G. Quinn, "Doppler Speed and Range Estimation using Frequency and Amplitude Estimates," *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 98, No. 5, pp. 2560-2566, Nov. 1995.