

논문 2016-53-2-16

분산센서망에서 표적을 탐지한 센서의 기하학적 구조를 이용한 표적위치 추정

(Target Localization Using Geometry of Detected Sensors in
Distributed Sensor Network)

류 창 수*

(Chang Soo Ryu[©])

요 약

해안 수중 감시를 위하여 분산센서망을 해안에 설치하고, 이를 이용하여 표적을 탐지하고 표적의 위치를 추정하는 연구가 많이 이루어지고 있다. Zhou 등은 표적 탐지만 가능한 간단한 구조의 센서들로 구성된 분산센서망에서 표적을 탐지한 센서들의 위치 정보를 활용하여 표적의 위치를 추정하는 기법을 제안하였다. Zhou 등이 제안한 기법은 다른 기존의 기법에 비해 표적탐지 신호의 전파모델에 대한 파라미터들을 별도로 추정할 필요가 없고, 연산량이 적으며, 분산센서망에서 적은 량의 데이터만 송수신하여도 된다. 그러나 Zhou 기법은 표적의 위치 추정오차가 크다. Ryu는 추정오차를 줄이기 위하여 Zhou 기법을 수정하였다. 수정된 Zhou 기법은 Zhou 기법보다 추정성능이 향상되었지만, 여전히 비교적 큰 추정오차를 가지고 있다. 본 논문에서는 수정된 Zhou 기법으로 구한 표적의 방위각을 나타내는 직선과 표적을 탐지한 센서들과의 기하학적 구조를 고려한 표적위치 추정기법을 제안하였으며, 수정된 Zhou 기법에 기반을 두고 있다. 제안한 기법의 표적위치 추정성능이 Zhou 기법과 수정된 Zhou 기법 보다 향상되었음을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

Abstract

In active sonar field, a target detection and localization based on a distributed sensor network has been much studied for the underwater surveillance of the coast. Zhou et al. proposed a target localization method utilizing the positions of target-detected sensors in distributed sensor network which consists of detection-only sensors. In contrast with a conventional method, Zhou's method dose not require to estimate the propagation model parameters of detection signal. Also it needs the lower computational complexity, and to transmit less data between network nodes. However, it has large target localization error. So it has been modified for reducing localization error by Ryu. Modified Zhou's method has better estimation performance than Zhou's method, but still relatively large estimation error. In this paper, a target localization method based on modified Zhou's method is proposed for reducing the localization error. The proposed method utilizes the geometry of the positions of target-detected sensors and a line that represents the bearing of target, a line can be found by modified Zhou's method. This paper shows that the proposed method has better target position estimation performance than Zhou's and modified Zhou's method by computer simulations.

Keywords : Active Sonar, Target Localization, Target Detection, Distributed Sensor Network, Line Fitting

* 정회원, 영남이공대학교 전자정보계열
(Div. of Electronics & Information Engineering, Yeungnam University College)

© Corresponding Author(E-mail: csryu@ync.ac.kr)

※ 이 논문은 2014학년도 영남이공대학교 연구구성비 지원에 의한 것임.

Received ; September 04, 2015 Revised ; January 05, 2016

Accepted ; January 18, 2016

I. 서 론

현대 해전에서 전개될 네트워크 중심 작전(Network Centric Warfare)에서는 적의 수중 침투 및 공격에 효과적으로 대항하기 위하여 광해역 수중감시체계를 확립하는 것이 필요하며, 광해역 수중감시체계 구축을 위하

여 분산센서망을 사용하게 된다. 현대 해전에 중요한 잠수함 기술이 발전함에 따라, 기존의 수중감시체계로는 전장에서 수중 침투 및 공격에 대항하는 것이 점점 어려워지고 있다. 이를 극복하기 위하여 수중감시체계는 다양한 센서를 감시해역에 분산 설치하고, 수중 통신을 통해 센서 네트워크를 구성하는 분산 센서망을 사용하는 것으로 발전하고 있다^[1]. 무선통신 능력을 갖추고 신호처리 프로세서가 내장된 소형의 저 전력 소모 센서 디바이스가 등장함에 따라, 이러한 센서들을 통신망으로 연결한 분산센서망을 기반으로 하는 표적의 탐지 및 위치추정 기법들 활발히 연구되고 있다^[2].

분산센서망을 구성하는 센서들은 일반적으로 제한된 배터리 전원과 통신 대역폭을 사용한다. 따라서 분산센서망의 센서단에 해당하는 센서는 제한된 전원 수명을 가지며 수집된 데이터 교환을 위한 통신채널 용량과 데이터 처리를 위한 연산 용량에 많은 제한을 받게 된다. 이러한 분산센서망의 제한점을 고려하는 분산탐지(distributed detection) 기법들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[3-7].

능동소나 분야에서 Zhou 등은 표적의 탐지만 가능한 간단한 구조의 센서들로 구성된 분산센서망을 기반으로 하고, 표적을 탐지한 센서들의 위치를 라인피팅(line fitting)하여 표적의 위치를 추정하는 기법을 제안하였다^[8]. Zhou의 표적위치 추정기법은 음파전달 모델에 대한 파라미터들을 추정할 필요가 없고, 연산량이 적으며, 데이터처리 센터는 적은 량의 데이터만 수집하여도 된다는 장점을 가지고 있다. 그러나 Zhou의 기법은 표적의 위치추정오차가 크다는 단점을 가지고 있다.

Ryu는 Zhou의 위치추정기법의 추정오차를 줄이기 위하여 Zhou의 위치추정기법을 수정하였다. Ryu는 센서 신호의 상호상관 값을 반영하는 표적 위치추정 식을 유도하고, 이 식을 Zhou의 기법에 적용함으로써 새로운 표적 위치추정기법을 제안하였다^[9]. Ryu가 제안한 기법은 Zhou의 기법에 비해 표적의 위치추정오차가 개선되었지만, 추정오차가 여전히 커서 추정성능의 향상이 필요하다.

본 논문에서는 Zhou 기법과 Ryu가 제안한 수정된 Zhou 기법보다 추정오차를 줄일 수 있는 위치추정기법을 제안한다. 수정된 Zhou기법에서는 표적을 탐지한 센서의 상호상관 값을 반영하여 표적의 위치를 추정하지만, 본 논문에서는 표적을 탐지한 센서들의 상호상관 값뿐만 아니라 기하학적 정보를 반영하여 표적의 위치를 추정함으로써 표적의 위치추정오차를 줄일 수 있다

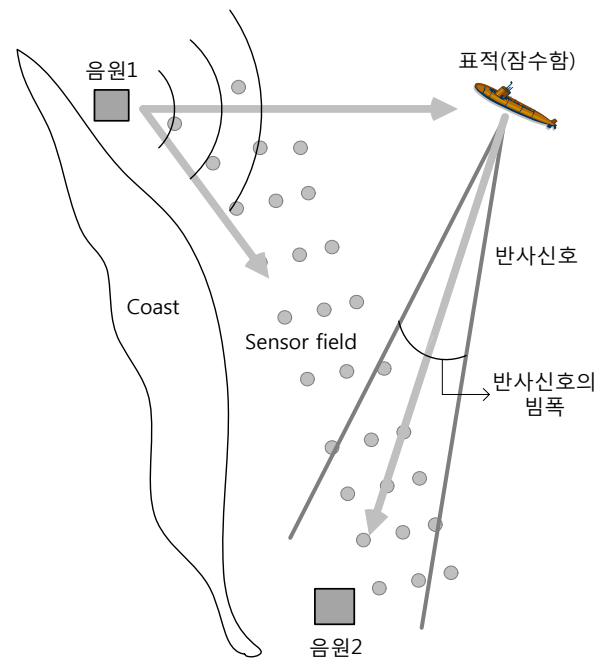


그림 1. 분산센서망에서 다중상태 능동소나의 표적탐지 시나리오

Fig. 1. Scenario for target detection using multi-static active sonar in distributed sensor network.

록 한다. 본 논문에서는 표적을 탐지한 센서들의 기하학적 정보를 표적의 위치추정에 반영할 수 있는 방안을 제안하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안한 방안의 성능을 확인한다.

본 논문의 II장에서 분산센서망 환경에서 능동소나를 이용하여 표적을 탐지하는 상황을 설명하고, 음원에서 송출하는 표적 탐지신호의 전파모델을 설명한다. III장에서는 Zhou의 표적 위치추정기법과 수정된 Zhou 기법을 설명하고, 이 기법들보다 추정성능이 향상된 표적 위치추정기법을 제안한다. IV장에서 Zhou 기법, 수정된 Zhou 기법, 제안한 기법의 표적위치 추정성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 분산센서망 기반의 표적탐지

그림 1은 해안 수중감시를 위하여 설치된 분산센서망에서 능동소나 시스템을 이용하여 표적을 탐지하는 상황을 설명하고 있다. 음원은 탐지신호를 송출하고, 표적에 반사되어 오는 탐지신호를 분산센서망을 구성하는 센서들이 수신하여 표적을 탐지한다^[8]. 분산센서망의 센서는 수신한 탐지신호의 상호상관 값을 구한 후, 상호상관 값을 주어진 문턱값(threshold)과 비교하여 표적의

존재 유무를 결정 한다. 그리고 센서는 표적의 존재 유무에 대한 탐지 결과를 데이터처리 센터에 전송하며, 표적이 존재하면 “1”을 전송하고, 표적이 존재하지 않는 경우 “0”을 전송한다. 이와 같은 상황에서 센서는 1비트의 이진신호만을 전송하게 되고 매우 적은 통신용량이 요구된다.

음원에서 송출된 탐지신호가 표적인 잠수함에 반사되어 분산센서망의 센서로 전파되는 과정을 그림 2에서 설명하고 있다^[8]. 분산센서망은 N 개의 탐지만 가능한 간단한 구조의 센서들로 구성되어 있으며, 음원에서 송출되는 탐지신호는 무지향성(omni-directional) 신호이다. 음원에서 송출된 표적 탐지신호는 분산센서망의 센서와 표적으로 전파 된다. 수중표적인 잠수함에 도달한 탐지신호는 잠수함의 표면에서 반사되어 수중으로 전파하게 된다. 잠수함에서 반사된 반사신호는 탐지신호와 달리 지향성 신호가 되며, 작은 빔 폭을 가지고 특정 방향으로 전파하게 된다. 반사파의 전파 방향은 음원위치, 잠수함의 위치, 잠수함의 자세각 등에 의해서 결정되며, 그림 2는 이러한 상황을 설명하고 있다.

음원에서 송출된 탐지신호가 분산센서망의 센서로 직접 전파되어 센서에 도달한 신호는 전파 거리가 짧기 때문에 표적에서 반사되어 센서에 도달한 신호보다 크기가 크며, 센서에 도달하는 시간이 빠르다. 분산센서망의 센서는 음원으로부터 직접 도달한 신호에 의해서 활성화 된다. 센서가 활성화가 된 후에 표적에서 반사된 신호가 도달하게 되며, 센서는 주어진 데이터 윈도우 안에서 상관기를 이용하여 표적 반사신호에 대한 상호상관 값을 구함으로써 표적을 탐지한다. 여기서 데이터 윈도우의 크기는 분산센서망이 감시하고자 하는 최대 감시영역의 크기에 따라 결정된다. 센서의 상호상관 값이 주어진 문턱값 보다 큰 경우는 표적이 탐지되었다고 선언되며 $z_n = 1$ 로 설정하고, 상호상관 값이 주어진 문턱값보다 작은 경우는 표적이 탐지되지 않았다고 선언되고 $z_n = 0$ 으로 설정한다. 여기서 z_n 은 n 번째 센서의 탐지결과를 저장하는 변수이다. 그림 1에서처럼 표적 반사신호는 좁은 빔 폭을 가지는 지향성 신호이기 때문에, 분산센서망에 도달한 반사신호의 빔 폭 영역에 존재하는 센서들에 의해서 표적이 탐지된다. 표적탐지 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{D,n} = p(z_n = 1) = \exp\left(-\frac{\Gamma_{th}}{1 + SNR_n}\right) \quad (1)$$

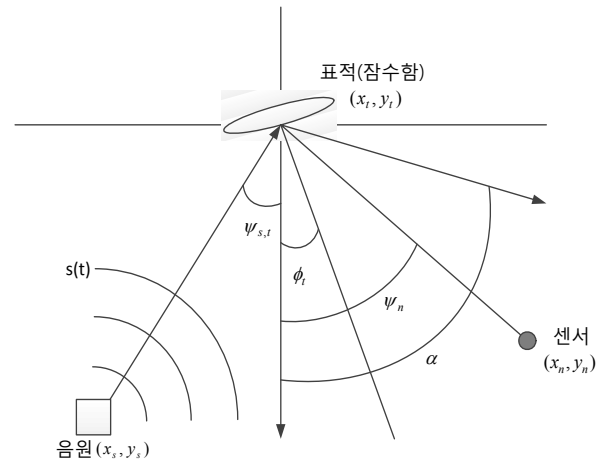


그림 2. 음원 위치, 표적 위치, 표적 자세각에 따른 표적 반사신호의 전파

Fig. 2. Propagation of reflected wave based on source position, target position and target orientation.

- (x_s, y_s) : 음원의 위치 좌표
- (x_t, y_t) : 표적의 위치 좌표
- (x_n, y_n) : 분산센서망의 n 번째 센서의 위치 좌표
- $\psi_{s,t}$: 음원과 표적이 이루는 각
- ϕ_t : 표적의 자세각
- ψ_n : n 번째 센서와 표적이 이루는 각
- α : 잠수함에 반사되는 신호의 각
- $s(t)$: 음원에서 송출되는 표적 탐지신호

여기서, SNR_n 은 n 번째 센서의 반사신호에 대한 신호대잡음비이고, Γ_{th} 는 탐지 문턱값이다.

탐지 문턱값 Γ_{th} 가 주어지면, 오경보 확률은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_{fa} = \exp(-\Gamma_{th}) \quad (2)$$

신호대잡음비 SNR_n 은 신호 전파거리, 잠수함과 센서가 이루는 각, 신호 반사각의 함수이며 다음과 같다.

$$SNR_n = c_0 f_1(r_n) f_2(\psi_n, \alpha) \quad (3)$$

여기서 c_0 는 상수이다.

식 (3)의 $f_1(r_n)$ 은 탐지신호의 전파거리에 따른 SNR_n 의 크기를 나타내는 함수이며, 표적과 센서사이의 거리에 반비례한다. 따라서 $f_1(r_n)$ 은 다음과 같다.

$$f_1(r_n) = r_n^{-1} \quad (4)$$

여기서,

$$r_n = \sqrt{(x_s - x_t)^2 + (y_s - y_t)^2} + \sqrt{(x_n - x_t)^2 + (y_n - y_t)^2} \quad (5)$$

그리고 식 (3)의 $f_2(\psi_n, \alpha)$ 는 ψ_n 과 α 의 함수이며, 다음과 같이 Butterworth 필터로 모델링된다.

$$f_2(\psi_n, \alpha) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\psi_n - \alpha}{W}\right)^{2K}} \quad (6)$$

여기서 W 는 3dB 대역폭이며, K 는 필터 차수이다. 그리고 ψ_n 는 다음과 같이 주어진다.

$$\psi_n = \text{atan}\left(-\frac{x_n - x_t}{y_n - y_t}\right), \quad \forall n \quad (7)$$

식 (3)을 (1)에 대입하면 다음과 같다.

$$P_{D,n} = \exp\left(-\frac{\Gamma_{th}}{1 + c_0 f_1(r_n) f_2(\psi_n, \alpha)}\right) \quad (8)$$

n 번째 센서의 탐지결과를 나타내는 z_n 은 이진랜덤 변수(binary random variable)이며, z_n 에 대한 확률질량 함수(probability mass function)는 식 (8)을 이용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$p(z_n = 1) = P_{D,n}, \quad p(z_n = 0) = 1 - P_{D,n} \quad (9)$$

III. 표적을 탐지한 센서의 기하학적 구조를 이용한 표적위치 추정

표적 반사신호는 좁은 빔 폭을 가지고 전파되기 때문에, 분산센서망의 센서필드에서 표적을 탐지한 센서들은 반사각 방향으로 직선 형태의 탐지영역(detection zone)을 형성하게 된다. 탐지영역에 존재하는 센서들과 최소 거리를 가지는 직선을 찾음으로써 표적의 방위각을 추정할 수 있으며, 표적은 이 직선 상에 존재한다고 추정할 수 있다.

그림 3은 표적을 탐지한 센서가 M 개 인 경우에, M 개의 센서들과 최소 거리를 가지는 직선의 방정식을 구하는 것을 설명하고 있다. 그림 3에서 한 점 (x_0, y_0) 와 각도 β 로 이루어지는 직선의 방정식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$(x - x_0) = -(y - y_0) \tan \beta \quad (10)$$

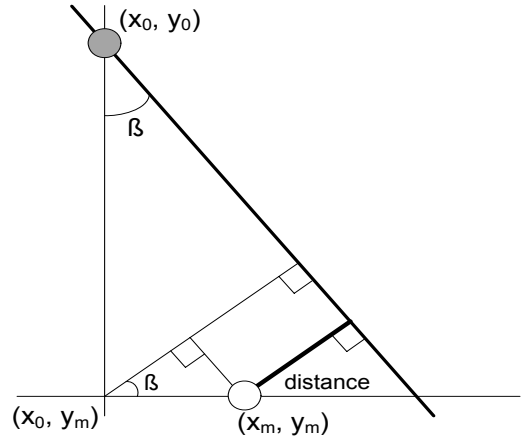


그림 3. 표적을 탐지한 센서들에 대하여 최소 거리에 있는 직선

Fig. 3. Line with minimum distance to sensors declaring "detection".

그리고 그림 3에서 표적을 탐지한 M 개의 센서 중에서 m 번째 센서인 (x_m, y_m) 과 직선 사이의 거리는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$|(y_0 - y_m) \sin \beta + (x_0 - x_m) \cos \beta| \quad (11)$$

표적을 탐지한 M 개의 센서들과 최소 거리를 가지는 직선을 찾기 위해서 총 제곱 거리(total squared distance)를 식 (11)을 이용하여 다음과 같이 정의한다.

$$f(x_0, y_0, \beta) = \sum_{m=1}^M [(y_0 - y_m) \sin \beta + (x_0 - x_m) \cos \beta]^2 \quad (12)$$

표적을 탐지한 센서들과 거리가 최소인 직선은 식 (12)를 최소화하는 (x_0, y_0, β) 를 구한 후, 이를 식 (10) 대입하면 구할 수 있다. (x_0, y_0, β) 를 구하기 위하여 $\partial f(x_0, y_0, \beta) / \partial x_0 = 0, \partial f(x_0, y_0, \beta) / \partial y_0 = 0$ 하면 다음과 같다.

$$\sin \beta \sum_{m=1}^M (y_0 - y_m) + \cos \beta \sum_{m=1}^M (x_0 - x_m) = 0 \quad (13)$$

그리고 $\partial f(x_0, y_0, \beta) / \partial \beta = 0$ 하면 다음과 같다.

$$\tan(2\beta) = \frac{2 \sum_{m=1}^M (x_0 - x_m)(y_0 - y_m)}{\sum_{m=1}^M [(x_0 - x_m)^2 - (y_0 - y_m)^2]} \quad (14)$$

식 (13)과 (14)를 이용하여 (x_0, y_0, β) 를 구할 때, 3

개의 미지수에 대하여 식은 2개이다. 그러므로 미지수 (x_0, y_0, β) 를 구하기 위해서는 3개 미지수 중에 적어도 1개의 미지수는 특정한 값으로 선택하여야 한다. 미지수 β 는 표적의 방위각이기 때문에 미지수 (x_0, y_0) 를 특정한 값으로 선택하는 것이 바람직하다. (x_0, y_0) 를 표적을 탐지한 센서들의 중심 위치로 선택하는 것이 하나의 합리적인 방법이다. 식 (15)와 같이 (x_0, y_0) 를 선택한 후에 식 (14)를 이용하여 β 값을 구하면, 식 (10)의 직선의 방정식을 구할 수 있다. 여기서 β 는 표적의 방위각이 된다.

$$x_0 = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M x_m, \quad y_0 = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M y_m \quad (15)$$

1. Zhou의 표적 위치추정기법

1개의 음원을 사용하는 경우 표적의 방위각만을 추정할 수 있지만, 2개의 음원을 사용하면 표적의 위치를 추정할 수 있다^[8]. 그림 4는 2개의 음원을 사용하여 표적의 위치를 추정하는 개념을 보여주고 있다. 그림 4에서 첫 번째 음원에서 송출한 탐지신호가 표적에 반사되어 센서 필드에 도달하였을 때, 표적을 탐지한 센서들은 * 모양의 센서들이며, 이 센서들과 최소 거리가 되는 직선을 식 (10)을 이용하여 찾을 수 있다. 그리고 두 번째 음원에 의해서 표적을 탐지한 센서들은 Δ 모양의 센서들이며, 이 센서들과 최소 거리가 되는 다른 하나의 직선을 찾을 수 있다. 이 두 직선의 교점이 표적의 위치 추정치가 된다. 첫 번째 음원에 의해서 구한 표적의 방위각 $\beta^{(1)}$ 과 표적을 탐지한 센서들의 중심 위치 $(x_0^{(1)}, y_0^{(1)})$ 을 이용하여 구한 직선상에 표적의 위치 (x_t, y_t) 가 존재한다. 그러므로 (x_t, y_t) 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(x_t - x_0^{(1)}) = -(y_t - y_0^{(1)}) \tan \beta^{(1)} \quad (16)$$

그리고 두 번째 음원에 의해서 구한 표적의 방위각과 표적을 탐지한 센서들의 중심 위치를 $\beta^{(2)}$ 와 $(x_0^{(2)}, y_0^{(2)})$ 라 하면, 표적의 위치 (x_t, y_t) 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(x_t - x_0^{(2)}) = -(y_t - y_0^{(2)}) \tan \beta^{(2)} \quad (17)$$

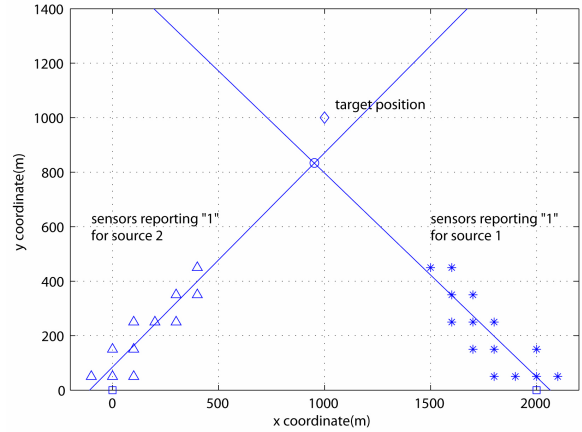


그림 4. 2개의 음원을 이용한 표적의 위치추정
Fig. 4. Target localization using two sources.

식 (16)과 (17)의 (x_t, y_t) 에 대한 해를 구함으로써 표적의 위치를 추정할 수 있으며, 해는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_t \\ y_t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \tan \beta^{(1)} \\ 1 & \tan \beta^{(2)} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_0^{(1)} + y_0^{(1)} \tan \beta^{(1)} \\ x_0^{(2)} + y_0^{(2)} \tan \beta^{(2)} \end{bmatrix} \quad (18)$$

2. 수정된 Zhou의 표적 위치추정기법

Ryu는 Zhou 기법의 표적 위치추정 성능을 향상시키기 위하여, 센서의 상호상관 값 크기를 고려함으로써 식 (12)의 총 제곱 거리를 다음과 같이 수정하였다^[9].

$$f(x_0, y_0, \beta) = \sum_{m=1}^M a_m [(y_0 - y_m) \sin \beta + (x_0 - x_m) \cos \beta]^2 \quad (19)$$

여기서 $a_m = p_m / \sum_{m=1}^M p_m$ 이며, p_m 은 m 번째 센서에서 표적 탐지를 위해서 구하는 상호상관 값의 크기이다.

식 (19)로부터 표적의 방위각 β 를 구하는 식은 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\tan(2\beta) = \frac{2 \sum_{m=1}^M a_m (x_0 - x_m)(y_0 - y_m)}{\sum_{m=1}^M a_m [(x_0 - x_m)^2 - (y_0 - y_m)^2]} \quad (20)$$

식 (20)의 미지수 x_0, y_0 는 센서의 상호상관 값 크기를 고려하여 다음과 같이 센서들의 중심 위치로 선택한다.

$$x_0 = \sum_{m=1}^M a_m x_m, \quad y_0 = \sum_{m=1}^M a_m y_m \quad (21)$$

표적의 위치를 추정하기 위하여, 첫 번째 음원에 의한 센서 탐지결과로부터 식 (20)와 (21)을 이용하여 $(x_0^{(1)}, y_0^{(1)})$ 와 $\beta^{(1)}$ 을 구한다. 그리고 두 번째 음원에 의한 센서 탐지결과로부터 $(x_0^{(2)}, y_0^{(2)})$ 와 $\beta^{(2)}$ 을 구한다. $(x_0^{(1)}, y_0^{(1)})$, $\beta^{(1)}$, $(x_0^{(2)}, y_0^{(2)})$, $\beta^{(2)}$ 을 식 (18)에 대입하여 연립 방정식의 해를 구하면, 표적의 위치를 추정할 수 있다.

3. 제안한 표적 위치추정기법

제안한 표적 위치추정기법은 추정성능을 향상하기 위하여 수정된 Zhou 기법으로 구한 직선과 표적을 탐지한 센서들 간의 기하학적 구조를 이용한다. 직선과 표적을 탐지한 센서들 간의 거리에 따른 센서의 가중치를 구하고, 이 가중치를 반영하여 새로운 직선을 구함으로써 추정오차를 줄인다. 직선에서 가까운 거리에 존재하는 센서 일수록 가중치를 크게 부여하여 직선을 구하는데 상대적으로 많이 기여하도록 한다.

표적을 탐지한 센서들에 식 (20)과 (21)을 적용하여 표적의 방위각 추정치 $\hat{\beta}$ 및 센서들의 중심 추정치 (\hat{x}_0, \hat{y}_0) 을 구한다. 이것을 이용하여 직선 L 을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$L: (x - \hat{x}_0) = -(y - \hat{y}_0) \tan \hat{\beta} \quad (22)$$

직선 L 과 표적을 탐지한 m 번째 센서 간의 거리를 d_m 이라 하면, d_m 은 다음같이 구할 수 있다.

$$d_m = |(\hat{y}_0 - y_m) \sin \hat{\beta} + (\hat{x}_0 - x_m) \cos \hat{\beta}|, \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (23)$$

$\{d_m, m = 1, 2, \dots, M\}$ 중에서 직선 L 과 가장 멀리 떨어진 거리(d_m 의 최대값)를 D 로 정의한다. 그리고 D 에서 d_m 를 뺀 값을 g_m 이라 하고, 다음과 같이 구한다.

$$g_m = D - d_m, \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (24)$$

표적을 탐지한 m 번째 센서의 거리 가중치를 q_m 이라고 하고, g_m 을 이용하여 다음과 같이 정의한다.

$$q_m = \frac{g_m}{\sum_{i=1}^M g_i}, \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (25)$$

식 (19)에서 확인할 수 있는 바와 같이 수정된 Zhou 기법에서는 센서의 상호상관 값의 크기를 반영한 센서 가중치 a 를 사용하였다. 식 (25)에서 정의한 센서 거리 가중치 q 를 반영하기 위하여, 제안한 기법에서는 a 와 q 를 융합한 융합 가중치 w 를 다음과 같이 정의한다.

$$w_m = r_a a_m + r_q q_m, \quad m = 1, 2, \dots, M \quad (26)$$

여기서 r_a 와 r_q 는 a_m 과 q_m 이 w_m 에 반영되는 비율을 나타내며, $0 \leq r_a, r_q \leq 1$, $r_a + r_q = 1$ 을 만족시키는 범위에서 설정한다.

센서의 융합 가중치 w 를 이용하여 식 (12)의 총 제곱 거리를 다음과 같이 수정한다.

$$f(x_0, y_0, \beta) = \sum_{m=1}^M w_m [(y_0 - y_m) \sin \beta + (x_0 - x_m) \cos \beta]^2 \quad (27)$$

그리고 $\partial f(x_0, y_0, \beta) / \partial \beta = 0$ 하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial \beta} &= 2(\cos^2 \beta - \sin^2 \beta) \sum_{m=1}^M w_m (x_0 - x_m)(y_0 - y_m) \\ &\quad - 2\sin \beta \cos \beta \sum_{m=1}^M w_m [(x_0 - x_m)^2 - (y_0 - y_m)^2] \\ &= 0 \end{aligned} \quad (28)$$

식 (28)을 이항정리하면, 표적의 방위각 β 를 구하는 식을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\tan(2\beta) = \frac{2 \sum_{m=1}^M w_m (x_0 - x_m)(y_0 - y_m)}{\sum_{m=1}^M w_m [(x_0 - x_m)^2 - (y_0 - y_m)^2]} \quad (29)$$

식 (29)의 x_0, y_0 는 융합 가중치 w_m 을 고려하여 다음과 같이 선택한다.

$$x_0 = \sum_{m=1}^M w_m x_m, \quad y_0 = \sum_{m=1}^M w_m y_m \quad (30)$$

2개의 음원을 사용하여 표적을 탐지한 후, 센서 탐지 결과로부터 식 (29)와 (30)을 이용하여 $(x_0^{(1)}, y_0^{(1)})$, $\beta^{(1)}$ 및 $(x_0^{(2)}, y_0^{(2)})$, $\beta^{(2)}$ 를 구한다. $(x_0^{(1)}, y_0^{(1)})$, $\beta^{(1)}$, $(x_0^{(2)}, y_0^{(2)})$, $\beta^{(2)}$ 을 식 (18)에 대입하여 연립 방정식의 해를 구하면, 표적의 위치를 추정할 수 있다.

IV. 시뮬레이션

III장에서 언급한 표적위치 추정기법들의 성능을 비교하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위한 분산센서망은 가로 및 세로가 각각 2200m와 500m인 직사각형 센서필드로 설정하였으며, 분산센서망을 구성하는 센서들은 센서필드 영역인 $\{(x, y) | -200 \leq x \leq 2200, 0 \leq y \leq 500\}$ 에 가로 및 세로 간격이 100m로 균일하게 배치하였다. 표적은 $(x_t = 1000, y_t = 1000)$ 에 위치시켰으며, 두 음원은 $(0, 0)$ 과 $(2000, 0)$ 에 위치시켰다. 반사신호 전파 모델의 Butterworth 필터의 차수는 $K = 4$ 로 설정하였으며, Butterworth 필터의 3dB 대역폭은 $W = 5\pi/180$ 로 설정하였다. 센서의 신호대잡음비를 표시하는 식 (3)의 상수($c_0 = r_{ref} \text{SNR}$)는 $r_{ref} = 2000$, $\text{SNR} = 20\text{dB}$ 로 설정하였다. 센서가 표적을 잘못 탐지하는 오경보율은 $P_{fa} = 0.01$ 로 설정하고, 표적의 자세각은 $\phi_t = 0$ 으로 설정하였다^[9]. 그리고 식 (26)의 표적을 탐지한 센서의 가중치를 구하기 위하여 r_a 와 r_q 는 $r_a = r_q = 0.5$ 로 설정하였다.

설정된 시뮬레이션 환경에서 3가지 표적위치 추정기법을 이용하여 표적의 위치를 추정하였다. 그림 5는 3가지 추정기법의 표적위치 추정 결과를 보여 주고 있다. 그림 5에서 제안한 기법이 Zhou 기법과 수정된 Zhou 기법에 비해 표적위치 추정성능이 상대적으로 우수함을 확인할 수 있다.

제안한 기법의 성능이 Zhou 기법과 수정된 Zhou 기법에 비해 얼마나 향상되었는지 정량적으로 평가하기 위하여 100번의 몬테칼로 시뮬레이션을 수행하였다. 표적 추정치의 x 좌표 위치오차, y 좌표 위치오차, 거리오차에 대한 RMSE(Root Mean Square Error) 값을 몬테칼로 시뮬레이션 결과로부터 구하였다. 표적 추정치에

표 1. 표적위치 추정 기법들의 성능 비교

Table 1. Performance comparison of target localization methods.

기법	RMSE	$RMSE_x$	$RMSE_y$	$RMSE_r$
Zhou 기법		103.36	190.71	216.91
수정된 Zhou 기법		55.43	120.73	132.84
제안한 기법		36.56	102.56	108.88

대한 x 좌표 위치오차 $RMSE(RMSE_x)$, y 좌표 위치오차 $RMSE(RMSE_y)$, 거리오차 $RMSE(RMSE_r)$ 는 식 (31)과 같이 정의하였다.

$$\begin{aligned}
 RMSE_x &= \sqrt{E[(\hat{x}_t - x_t)^2]} \\
 RMSE_y &= \sqrt{E[(\hat{y}_t - y_t)^2]} \\
 RMSE_r &= \sqrt{E[(\hat{x}_t - x_t)^2 + (\hat{y}_t - y_t)^2]}
 \end{aligned} \tag{31}$$

여기서 (x_t, y_t) 는 표적의 실제 위치이고 (\hat{x}_t, \hat{y}_t) 는 표적의 위치 추정치이며, $E[\cdot]$ 는 평균을 의미한다.

몬테칼로 시뮬레이션에 의해서 구한 x 좌표 위치오차, y 좌표 위치오차, 거리오차에 대한 RMSE가 표 1에 보여 지고 있다. 제안한 기법의 $RMSE_r$ 이 Zhou 기법보다 50% 감소되었으며, 수정된 Zhou 기법보다 18% 감소됨을 표 1에서 확인할 수 있다.

V. 결 론

Zhou의 표적위치 추정기법은 기존의 다른 기법에 비해 표적 탐지신호의 전파전달 모델에 대한 파라미터들을 추정할 필요가 없으며, 연산량이 적고, 분산센서망에서 탐지된 센서들만 이용하기 때문에 데이터처리 센터는 적은 량의 데이터만 수집하여도 된다는 장점을 가지고 있다. 그러나 Zhou 기법은 표적의 위치 추정오차가 크다는 단점을 가지고 있으며, 이러한 단점을 개선하기 위하여 Zhou 기법이 수정되었다. 그러나 수정된 Zhou 기법의 추정오차도 상당히 크며 성능 개선이 필요하다. 본 논문에서는 수정된 Zhou 기법으로 구한 표적의 방위각을 나타내는 직선과 표적을 탐지한 센서들과의 거리 정보를 고려하여 표적위치 추정기법을 제안하였으며, Zhou 기법의 장점을 그대로 유지한다. 제안한 기법

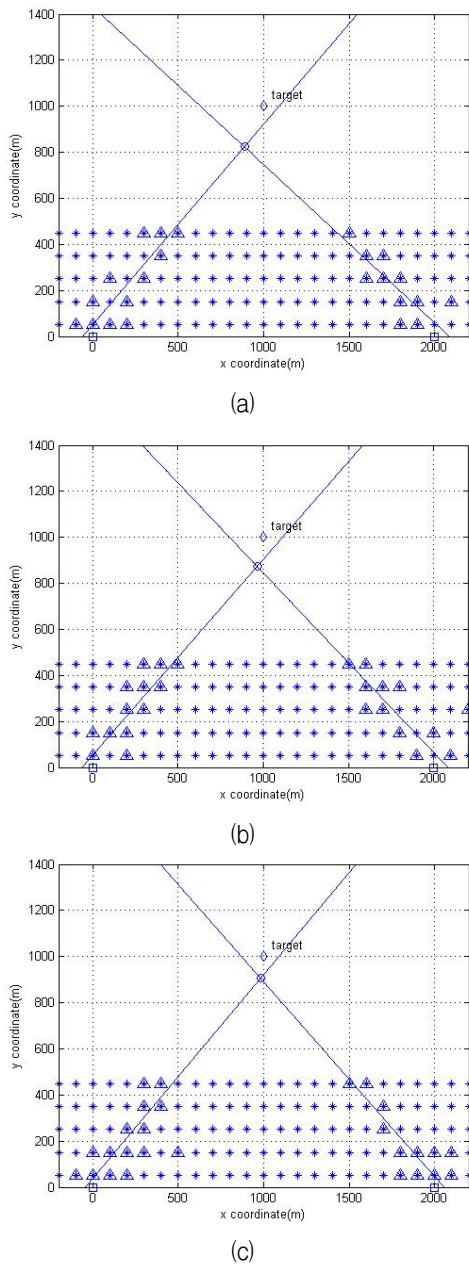


그림 5. 표적위치 추정 결과
 (a) Zhou 기법 (b) 수정된 Zhou 기법
 (c) 제안한 기법

Fig. 5. Results of target localization.
 (a) Zhou's method. (b) Modified Zhou's method.
 (c) Proposed method.

의 표적위치 추정성능이 Zhou 기법과 수정된 Zhou 기법 보다 향상됨을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

REFERENCES

[1] John R. Benedict, Jr, "Future Underwater Warfare perspectives," *Johns Hopkins APL Technical*

Digest, vol. 21, no. 2, pp. 269-279, 2000.
 [2] J. Xiao, A. Ribeiro, Z. Luo and G. B. Ginnakis, "Distribution compression-estimation using wireless sensor networks," *IEEE Signal Processing Mag.*, vol. 23, no. 4, pp. 27-41, Jul. 2006.
 [3] Biao Chen, Lang Tong, and Pramod K. Varshney, "Channel-aware distributed Detection in wireless sensor networks," *IEEE Signal Processing Mag.*, vol. 23, no. 4, pp. 16-26, Jul. 2006.
 [4] M. Cetin, L. Chen, J. W. Fisher III, A. T. Ihler, R. L. Moses, M. J. Wainwright, and A. S. Willsky, "Distributed fusion in sensor networks," *IEEE Signal Processing Mag.*, vol. 23, no. 4, pp. 42-55, Jul. 2006.
 [5] J. B. Predd, S. R. Kulkarni, and H. V. Poor, "Distributed Learning in wireless sensor networks," *IEEE Signal Processing Mag.*, vol. 23, no. 4, pp. 56-69, Jul. 2006.
 [6] M. Gastpar, M. Vetterli and P. L. Dragotti "Sensing reality and communicating bits : a dangerous liaison," *IEEE Signal Processing Mag.*, vol. 23, no. 4, pp. 70-83, Jul. 2006.
 [7] Xiaohong Sheng and Yu-Hen Hu, "Maximum likelihood multiple-source localization using acoustic energy measurements with wireless sensor networks," *IEEE Transaction on Signal Processing*, vol. 53, no. 1, Jan, 2005.
 [8] S. Zhou and P. Willett, "Submarine location estimation via a network of detection-only sensors," *IEEE Trans. on signal processing*, vol. 55, no. 6, June 2007 pp. 3104-3115.
 [9] Chang Soo Ryu, "Improved target localization using line fitting in distributed sensor network of detection-only sensor," *Journal of IEEK*, vol. 49, no. 9, Sep. 2012, pp. 362-369.

저 자 소 개



류 창 수(정회원)
 1992년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1994년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업.
 2002년 경북대학교 전자공학과 박사 졸업.

1994년~1997년 국방과학연구소 연구원
 2002년~현재 영남이공대학교 전자정보계열 교수
 <주관심분야 : 소나신호처리, 표적 탐지 및 추적>