

논문 2012-49-9-42

# 탐지만 가능한 센서로 구성된 분산센서망에서 라인피팅을 이용한 표적위치 추정기법의 성능향상

(Improved Target Localization Using Line Fitting in Distributed Sensor  
Network of Detection-Only Sensor)

류 창 수\*

(Chang Soo Ryu)

## 요 약

최근에 능동소나 분야에서 분산센서망을 이용하여 표적을 탐지하는 연구가 많이 이루어지고 있다. Zhou 등은 표적의 탐지만 가능한 간단한 구조의 센서들로 구성된 분산센서망에서 라인피팅(line fitting)을 이용하여 표적의 위치를 추정하는 기법을 제안하였다. 이 기법은 ML(Maximum Likelihood) 기법에 비해 3가지 장점을 가지고 있다. 첫째는, 음파전달 모델에 대한 파라미터들을 추정할 필요가 없으며, 둘째는 연산량이 적다. 셋째는 분산센서망에서 센서들이 표적을 탐지했다는 정보만 이용하기 때문에 데이터처리 센터는 적은 량의 데이터만 수집하여도 된다. 그러나 이 기법은 표적의 위치 추정오차가 크다는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 Zhou의 기법이 가지는 큰 위치 추정오차를 줄이기 위하여 Zhou가 제안한 표적위치 추정기법을 수정하였다. 본 논문에서 제안한 수정된 표적위치 추정기법은 Zhou의 기법보다 40.7%의 위치 추정오차가 감소하는 성능향상을 보였다.

## Abstract

Recently, a target detection based on a distributed sensor network has been much studied in active sonar. Zhou et al. proposed a target localization method using line fitting based on a distributed sensor network which consists of low complexity sensors that only report binary detection results. This method has three advantages relative to ML estimator. First, there is no need to estimate propagation model parameters. Second, the computation is simple. Third, it only use sensors with "detection", which implies less data to be collected by data processing center. However, this method has larger target localization error than the ML estimator. In this paper, a target localization method which modifies Zhou's method is proposed for reducing the localization error. The modified method shows the performance improvement that the target localization error is reduced by 40.7% to Zhou's method in the point of RMSE.

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

## I. 서 론

스텔스 잠수함, 소형잠수정, 공기불요 추진체계

\* 정희원, 영남이공대학교 전자정보계열  
(Div. of Electronics & Information Engineering,  
Yeungnam College of Science & Technology)

※ 이 논문은 2011학년도 영남이공대학교 연구조성비  
지원에 의한 것임.

접수일자: 2012년3월7일, 수정완료일: 2012년9월4일

(air-independent propulsion)와 같은 현대 해전의 중요한 기술들이 전 세계적으로 발전함에 따라, 기존의 수중감시체계로는 미래 전장에서 수중 침투 및 공격에 대항하는 것이 점점 어려워지고 있다. 이를 극복하기 위하여 미래의 수중감시체계는 많은 능·수동 센서와 무인 잠수정을 감시해역에 분산 설치하고, 수중 통신을 통해 센서 네트워크를 구성하는 분산센서망을 사용하는 것으로 발전하고 있다<sup>[1]</sup>. 이와 같은 분산센서망은 적의 위협

으로부터 광해역을 감시할 수 있다는 장점을 가지고 있지만, 분산센서망의 센서단에 해당하는 센서는 제한된 전원 수명을 가지기 때문에 수집된 데이터 교환을 위한 통신채널 용량과 데이터 처리를 위한 연산 용량에 많은 제한을 가지게 된다<sup>[2]</sup>. 최근에 이러한 분산센서망의 제한점을 고려하는 분산탐지(distributed detection) 기법들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[3~15]</sup>.

능동소나 분야에서 분산센서망을 이용하여 표적을 탐지하는 연구가 많이 이루어지고 있으며, Zhou 등은 표적의 탐지만 가능한 간단한 구조의 센서들로 구성된 분산센서망에서 라인피팅(line fitting)을 이용하여 표적의 위치를 추정하는 기법을 제안하였다<sup>[8]</sup>. Zhou의 라인피팅을 이용한 표적위치 추정기법은 ML(Maximum Likelihood) 기법에 비해 3가지 장점을 가지고 있다. 첫째, 음파전달 모델에 대한 파라미터들을 추정할 필요가 없으며, 둘째 연산량이 적다. 셋째 분산센서망에서 탐지된 센서들만 이용하기 때문에 데이터처리 센터는 적은 양의 데이터만 수집하여도 된다. 그러나 이 기법은 표적의 위치 추정오차가 크다는 단점을 가지고 있으며, 이러한 큰 위치 추정오차를 줄이는 것이 필요하다.

본 논문에서는 Zhou의 라인피팅을 이용한 표적위치 추정기법이 가지는 큰 추정오차를 줄이기 위하여, Zhou가 제안한 표적위치 추정 식을 센서의 상관기(correlator)에서 구한 상호상관 값의 크기를 포함하여 수정한다. Zhou의 기법에 수정된 식을 적용함으로써 새로운 수정된 표적위치 추정기법을 제안하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 제안한 표적위치 추정기법의 성능을 확인한다.

본 논문의 II장에서 분산센서망에서 다중상태 능동소나의 표적탐지 시나리오와 표적탐지 시나리오에 맞는 신호의 전파모델을 설명한다. 그리고 Zhou가 제안한 라인피팅을 이용한 표적위치 추정기법을 설명한다. III장에서 Zhou의 표적위치 추정기법을 기반으로 하여 표적위치 추적성능을 향상시키기 위한 새로운 표적위치 추정기법의 제안한다. IV에서 제안한 표적위치 추정기법의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인하며, V장에서 결론을 맺는다.

## II. 문제설정

### 1. 분산센서망 다중상태 능동소나 표적탐지 시나리오

분산센서망 다중상태 능동소나의 표적탐지를 위한 하나의 시나리오는 고정된 소노부이 음원이나 이동하는 수상함에 장착된 음원을 사용하여 탐지신호를 송출하고, 표적에 반사되어 오는 탐지신호를 수중에 고정 설치된 센서들이 수신하여 표적을 탐지하고 위치를 추정하는 것이며, 그림 1은 이러한 표적탐지 시나리오를 설명해 주고 있다<sup>[8]</sup>.

그림 1에서 표적의 위치를 효율적으로 추정하기 위해서는 수중에 설치된 센서들은 상호 협력하는 신호처리 기법(CSIP : Collaborative Signal and Information Processing)이 필요하며, 이를 위해서는 센서들은 서로 정보를 교환해야 한다. 수중에 설치되는 센서가 간단한 구조를 가지는 단일 센서인 경우, 일반적으로 통신용량과 연산능력에 제한을 갖고 있다. 따라서 센서들은 간단한 신호처리를 수행함과 동시에 정보를 최소화하여 데이터처리 센터로 전송하는 것이 필요하다.

이러한 상황에서 분산센서망을 구성하는 센서의 역할은 표적에서 반사되어 센서에 도달한 탐지신호를 상관기에 입력하여 구한 상호상관 값에 주어진 문턱값(threshold)을 적용하여 표적의 존재 유무를 탐지 한 후, 탐지 결과를 데이터처리 센터에 전송하는 것이다. 센서가 데이터처리 센터에 탐지 결과를 전송할 때, 표적이 존재하면 “1”을 전송하고, 표적이 존재하지 않는 경우 “0”을 전송한다. 이 경우 센서에서는 1 비트의 이진신호

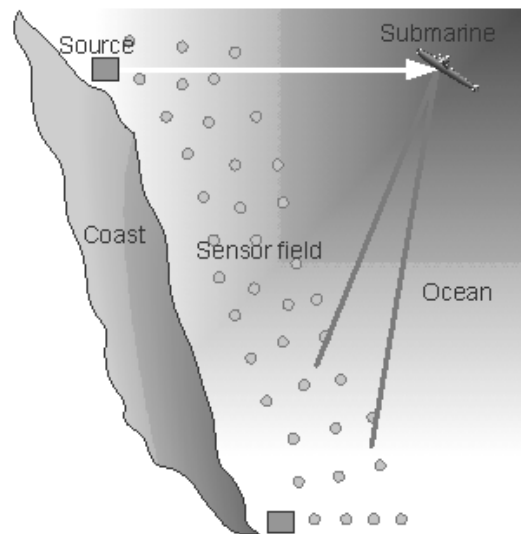


그림 1. 분산센서망에서 다중상태 능동소나의 표적탐지 시나리오

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

만을 전송하게 되고 매우 적은 통신용량이 요구된다.

2. 신호의 전파 모델

그림 2는 음원과 잠수함의 위치 및 잠수함의 자세각에 따라 탐지신호가 잠수함에 반사된 반사신호가 전파되어 가는 과정을 설명하고 있다<sup>[8]</sup>. 그림 2에서  $(x_s, y_s)$ 와  $(x_t, y_t)$ 는 음원과 표적의 위치를 각각 나타내며,  $(x_n, y_n)$ 은  $N$ 개의 센서가 수중에 설치되어 있을 때  $n$ 번째 센서의 위치를 나타낸다. 음원이 무지향성(omni-directional) 탐지신호  $s(t)$ 를 송출하는 경우, 신호  $s(t)$ 는 분산센서망을 구성하는 센서들과 표적에 도달하게 된다. 이 때 수중표적인 잠수함에 도달한 신호  $s(t)$ 는 잠수함의 표면에서 반사되어 수중으로 전파하게 되며, 잠수함에서 반사된 반사신호는 더 이상 무지향성 신호가 아닌 지향성 신호로 작은 빔 폭을 가지고 특정 방향으로 전파하게 된다. 이 경우에 전파되는 방향은 그림 2와 같이 음원과 잠수함의 위치, 잠수함의 자세각에 따라 결정된다. 그림 2에서  $\psi_{s,t}$ 는 음원과 표적이 이루는 각,  $\phi_t$ 는 표적의 자세각,  $\psi_n$ 은  $n$ 번째 센서와 표적이 이루는 각,  $\alpha$ 는 잠수함에 반사되는 신호의 각이다.

음원에서 센서로 직접 도달하는 신호  $s(t)$ 의 크기는 잠수함에서 반사되어 오는 신호의 크기보다 크며, 이렇게 직접 도달하는 신호에 의해서 센서들이 활성화 된다. 활성화된 센서는 주어진 데이터 윈도우 안에서 상

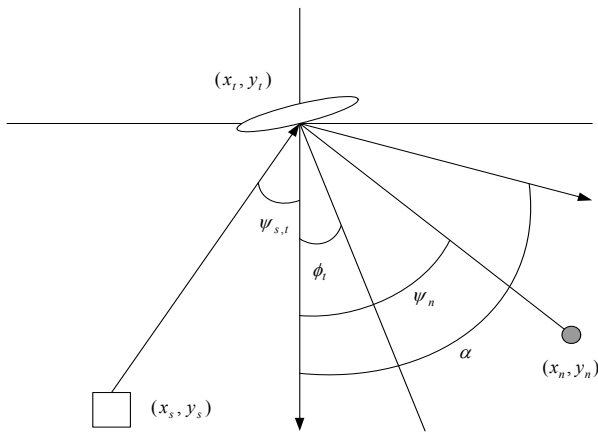


그림 2. 음원과 표적의 위치, 표적의 자세각에 따른 표적 반사신호의 전파

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

관을 이용하여 잠수함에서 반사된 신호에 대한 상호상관 값을 구함으로써 표적을 탐지하게 된다. 이때 데이터 윈도우의 크기는 분산센서망이 감시하고자 하는 최대 감시영역이 얼마냐에 따라 결정된다.  $z_n$ 를  $n$ 번째 센서에서의 탐지결과를 나타낼 때, 상호상관 값이 주어진 문턱값보다 큰 경우는 표적이 탐지되었다고 선언하고  $z_n = 1$ 으로 설정한다. 그리고 상호상관 값이 주어진 문턱값보다 작은 경우는 표적이 탐지되지 않았다고 선언하고  $z_n = 0$ 으로 설정한다. 잠수함 반사신호는 지향성 신호이므로 반사신호가 전파되는 특정 영역에 존재하는 센서들에 의해서만 탐지가 이루어지게 된다.

$SNR_n$ 이  $n$ 번째 센서에서 반사신호의 신호대잡음비이고,  $\Gamma_{th}$ 를 탐지 문턱값이라 할 때, 탐지 확률은 다음과 같다.

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

그리고 오경보 확률은 다음과 같다.

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

신호대잡음비  $SNR_n$ 은 신호의 전파거리와 잠수함과 센서가 이루는 각 및 신호 반사각의 함수로써 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$SNR_n = c_0 f_1(r_n) f_2(\psi_n, \alpha) \tag{3}$$

여기서  $c_0$ 는 상수이다.

식 (3)에서  $f_1(r_n)$ 은  $SNR_n$ 의 신호의 전파거리에 대한 함수로써 표적과 센서사이의 거리에 반비례하며 다음과 같다.

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

여기서  $r_n$ 은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

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

식 (3)에서 잠수함과  $n$ 번째 센서가 이루는 각  $\psi_n$ 과 신호 반사각  $\alpha$ 의 함수인  $f_2(\psi_n, \alpha)$ 는 Butterworth 필터로 모델링되며 다음과 같다.

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

여기서  $W$ 는 3dB 대역폭이며,  $K$ 는 필터 차수이다. 그리고  $\psi_n$ 는 다음과 같다.

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

함수  $f_1(r_n)$ 과  $f_2(\psi_n, \alpha)$ 를 이용하여 식 (1)을 다시 표현하면 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 센서에서의 탐지결과  $z_n$ 은 이진 랜덤변수로써, 식 (8)로부터 다음과 같은 확률질량함수(probability mass function)를 가진다.

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

### 3. Zhou의 라인피팅 기법을 이용한 표적위치 추정 기법

잠수함에서 반사된 신호는 작은 빔 폭을 가지고 전파되므로, 센서 필드에서  $z_n = 1$ 을 가지는 센서들은 반사각 방향으로 직선 형태의 탐지영역을 형성하게 된다. 이 경우 표적의 방위각은 탐지영역을 구성하는 센서들의 위치와 거리를 최소화하는 직선을 찾음으로써 추정할 수 있으며, 표적은 이 직선 상에 존재하게 된다. 그림 3에서 한 점  $(x_0, y_0)$ 와 각  $\beta$ 로 이루어지는 직선의 방정식은 다음과 같다.

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

그리고 직선과  $n$ 번째 센서사이의 거리는 다음과 같다.

$$|(y_0 - y_n)\sin\beta - (x - x_0)\cos\beta| \quad (11)$$

탐지결과  $z_n = 1$ 을 가지는 센서가  $L$ 개 있을 때,  $L$ 개의 센서들과 거리가 최소가 되는 직선을 찾기 위해서 총 제곱 거리(total squared distance)를 다음 식과 같이 정의한다.

$$f(x_0, y_0, \beta) = \sum_{n=1}^L [(y_0 - y_n)\sin\beta + (x_0 - x_n)\cos\beta]^2 \quad (12)$$

식 (12)를 최소화하는  $(x_0, y_0, \beta)$ 를 찾기 위하여  $\partial f(x_0, y_0, \beta)/\partial x_0 = 0$ ,  $\partial f(x_0, y_0, \beta)/\partial y_0 = 0$  을 구

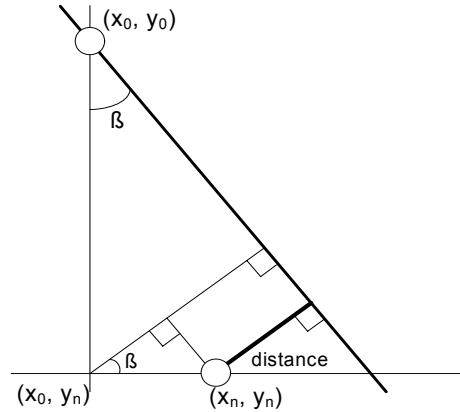


그림 3. 탐지한 센서에 거리가 최소가 되는 직선  
Fig. 3. Line with minimum distance to sensors declaring "detection".

하면 다음과 같다.

$$\sin\beta \sum_{n=1}^L (y_0 - y_n) + \cos\beta \sum_{n=1}^L (x_0 - x_n) = 0 \quad (13)$$

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

$$\tan(2\beta) = \frac{2 \sum_{n=1}^L (x_0 - x_n)(y_0 - y_n)}{\sum_{n=1}^L [(x_0 - x_n)^2 - (y_0 - y_n)^2]} \quad (14)$$

식 (13)과 식 (14)로부터 미지수  $(x_0, y_0, \beta)$ 를 구할 때, 미지수는 3개 이지만 식은 2개이다. 따라서 미지수  $(x_0, y_0, \beta)$ 를 구하기 위해서는 3개 미지수 중에 적어도 1개의 미지수는 특정한 값으로 선택하여야 한다. 미지수  $\beta$ 는 표적의 방위각이 되므로 미지수  $(x_0, y_0)$ 를 특정한 값으로 선택하는 것이 바람직하며,  $(x_0, y_0)$ 를 다음 식 (15)와 같이  $z_n = 1$ 을 가지는 센서들의 중심 위치로 선택하는 것이 하나의 합리적인 방법이다.

$$x_0 = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L x_n, \quad y_0 = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L y_n \quad (15)$$

식 (15)를 이용하여  $(x_0, y_0)$ 를 선택하고, 식 (14)를 이용하여  $\beta$  값을 구하면, 이  $\beta$  값이 표적의 방위각이 된다.

라인피팅 기법에서는 1개의 음원을 사용하는 경우 표적의 방위각만을 추정할 수 있지만, 2개의 음원을 사용하면 표적의 위치를 추정할 수 있다. 그림 4는 2개의

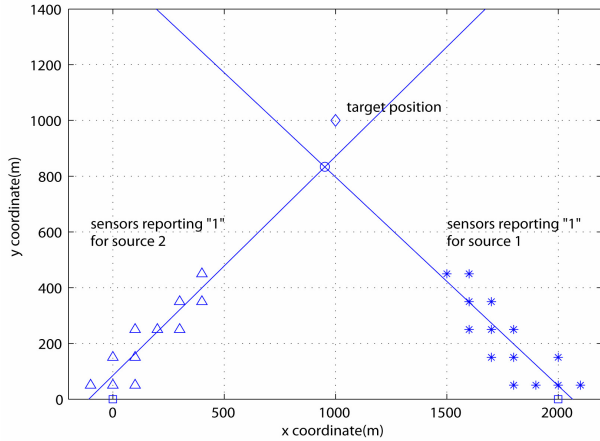


그림 4. 라인피팅 기법에서 2개의 음원을 이용한 표적 위치 추정

Fig. 4. Target localization using line fitting with two sources

음원을 사용하는 경우 표적의 위치를 추정하는 개념을 보여주고 있다. 첫 번째 음원에서 송출한 탐지신호가 표적에 반사되어 센서 필드에 도달하였을 때 표적을 탐지한 센서들은 그림 4에서 \* 모양의 센서들이며, 이 센서들과 이루는 거리가 최소가 되는 직선을 찾을 수 있다. 그리고 두 번째 음원에 의해서 표적을 탐지한 센서들은  $\Delta$  모양의 센서들이며, 이 센서들과 이루는 거리가 최소가 되는 다른 하나의 직선을 찾을 수 있다. 이 두 직선의 교점이 표적의 위치 추정치가 된다. 첫 번째 음원에 의해서 구한 표적의 방위각을  $\beta^{(1)}$ 이라하고, 첫 번째 음원에 의해서 탐지한 센서들의 중심 위치를  $(x_0^{(1)}, y_0^{(1)})$ 이라 하면, 표적의 위치  $(x_t, y_t)$ 는 다음 식과 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 방위각을  $\beta^{(2)}$ 라하고, 두 번째 음원에 의해서 탐지한 센서들의 중심 위치를  $(x_0^{(2)}, y_0^{(2)})$ 이라 하면, 표적의 위치  $(x_t, y_t)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

식 (16)과 식 (17)을 이용하여 표적의 위치를 추정하면 다음과 같다.

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

### III. 제안한 표적위치 추정기법

표적을 탐지한 센서들과 거리가 최소가 되는 직선을 찾기 위한 총 제곱 거리를 나타내는 식 (12)를 센서의 상호상관 값 크기를 고려함으로써 다음 식과 같이 수정하여 정의한다.

$$f(x_0, y_0, \beta) = \sum_{n=1}^L w_n [(y_0 - y_n) \sin \beta + (x_0 - x_n) \cos \beta]^2 \quad (19)$$

여기서  $w_n = p_n / \sum_{n=1}^L p_n$ 이며,  $p_n$ 은  $n$ 번째 센서에서 표

적의 탐지를 위해서 구하는 상호상관 값의 크기이다.

센서에서 구한 상호상관 값의 크기는 문제설정에서 설명한 신호전파 모델에 따라 표적과 센서의 기하학적 위치에 의해서 영향을 받는다. 잠수함에 반사되는 신호의 각 선상에 근접한 센서의 상호상관 값이 상대적으로 많이 벗어난 센서의 상호상관 값 보다 크게 나타난다. 제안한 표적위치 추정기법은 이러한 특성을 가진 상호상관 값 정보를 이용하여 Zhou의 표적위치 추정기법을 수정함으로써 표적위치 추정기법의 성능을 개선한다.

식 (12)를 최소화하는  $(x_0, y_0, \beta)$ 를 찾기 위하여  $\partial f(x_0, y_0, \beta) / \partial \beta = 0$  을 구하면,

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial \beta} &= 2(\cos^2 \beta - \sin^2 \beta) \sum_{n=1}^L w_n (x_0 - x_n)(y_0 - y_n) \\ &\quad - 2\sin \beta \cos \beta \sum_{n=1}^L w_n [(x_0 - x_n)^2 - (y_0 - y_n)^2] \quad (20) \\ &= 0 \end{aligned}$$

이고, 식 (20)을 이항정리하면 다음과 같다.

$$\frac{\sin \beta \cos \beta}{\cos^2 \beta - \sin^2 \beta} = \frac{\sum_{n=1}^L w_n (x_0 - x_n)(y_0 - y_n)}{\sum_{n=1}^L w_n [(x_0 - x_n)^2 - (y_0 - y_n)^2]} \quad (21)$$

식 (21)의 좌변 항을 삼각함수 공식을 이용하여 정리하면 다음 식을 구할 수 있다.

$$\tan(2\beta) = \frac{2 \sum_{n=1}^L w_n (x_0 - x_n)(y_0 - y_n)}{\sum_{n=1}^L w_n [(x_0 - x_n)^2 - (y_0 - y_n)^2]} \quad (22)$$

식 (22)에서 미지수는  $x_0, y_0, \beta$ 로 3개이며, 표적의 위치를 추정하기 위하여 Zhou의 기법에서처럼  $z_n = 1$

표 1. 위치추정 기법의 성능 비교

Table 1. Performance comparison of target localization method.

	$\hat{x}_t$ bias	$\hat{y}_t$ bias	RMSE
Zhou의 기법	-4.49	-180.70	226.62
제안한 기법	-3.34	-117.55	134.49

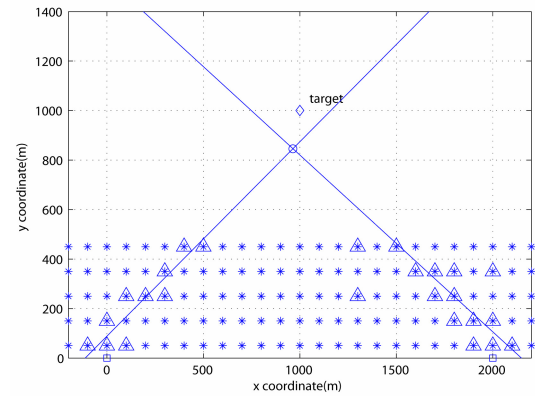
을 가지는 센서들의 중심 위치로  $(x_0, y_0)$ 를 선택한다. 제안한 알고리즘에서는 센서의 상호상관 값을 고려하고 있기 때문에 상호상관 값을 가중치로 하여 다음식과 같이 센서들의 중심 위치를 구한다.

$$x_0 = \sum_{n=1}^L w_n x_n, \quad y_0 = \sum_{n=1}^L w_n y_n \quad (23)$$

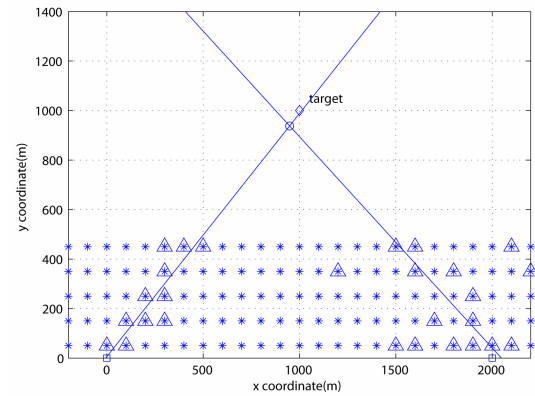
표적의 위치를 추정하기 위하여 두 개의 음원을 사용한다. 첫 번째 음원에 의한 센서 탐지결과로부터 식 (22)와 (23)을 이용하여 센서들의 중심  $(x_0^{(1)}, y_0^{(1)})$ 와 표적의 방위각  $\beta^{(1)}$ 을 얻을 수 있고, 두 번째 음원에 의한 센서 탐지결과로부터  $(x_0^{(2)}, y_0^{(2)})$ 와  $\beta^{(2)}$ 을 얻을 수 있다. 두 음원을 이용하여 얻은  $(x_0^{(1)}, y_0^{(1)})$ ,  $\beta^{(1)}$ ,  $(x_0^{(2)}, y_0^{(2)})$ ,  $\beta^{(2)}$ 을 식 (18)에 대입하여 연립 방정식의 해를 구하면, 표적의 위치 추정치  $(\hat{x}_t, \hat{y}_t)$ 을 구할 수 있다.

#### IV. 시뮬레이션

제안한 표적위치 추정기법의 성능을 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과를 Zhou 기법과 비교하였다. 시뮬레이션을 위한 분산센서망의 형태는 가로 2200m, 세로 500m 되는 직사각형 센서 필드를 사용하였다. 센서들은 직사각형 센서 필드 영역인  $\{(x, y) | -200 \leq x \leq 2200, 0 \leq y \leq 500\}$ 에 가로 및 세로 간격이 100m 되게 균일하게 배치하였다. 그리고 표적은  $(x_t = 1000, y_t = 1000)$ 에 배치하였으며, 두 개 음원은  $(0, 0)$ 과  $(2000, 0)$ 에 배치하였다. 신호전파 모델 설정에 필요한 필터의 차수는  $K=4$ , 3dB 대역폭은  $W=5\pi/180$ 으로 하였으며, 각 센서의 신호대잡음비를 나타내는 식 (3)의 상수  $c_0 = r_{ref} \text{SNR}$ 에서



(a)



(b)

그림 5. 라인피팅 기법을 이용한 표적위치 추정 결과 (a) Zhou의 기법 (b) 제안한 기법

Fig. 5. Results of target localization using line fitting (a) Zhou's method (b) Proposed method

$r_{ref} = 2000$ ,  $\text{SNR} = 20\text{dB}$ 로 설정하였다. 그리고 오경 비율은  $P_{fa} = 0.01$ , 표적의 자세각은  $\phi_t = 0$ 으로 설정하였다<sup>[8]</sup>.

그림 5는 Zhou의 표적위치 추정기법과 제안한 표적위치 추정기법의 대표적인 시뮬레이션 결과를 보여주고 있으며, 제안한 기법이 Zhou 기법에 비해 추정오차가 상대적으로 적음을 확인할 수 있다. Zhou 기법에서  $y$  위치 추정치 오차가  $x$  위치 추정치 오차 보다 상대적으로 크다는 것을 그림 5에서 확인할 수 있다. 그리고 제안한 기법에서  $x$  위치 추정치 오차는 Zhou 기법과 비슷하지만  $y$  위치 추정치 오차가 Zhou 기법에 비해 많이 개선됨을 그림 5에서 확인할 수 있다.

Zhou의 표적위치 추정기법과 제안한 표적위치 추정기법의 성능을 정량적으로 평가하기 위하여 100번의 몬테칼로 시뮬레이션을 수행하였으며, 표적의  $x$  위치 추

정치 및  $y$  위치 추정치의 평균오차(bias)와 RMSE (Root Mean Square Error) 값을 구하였으며, 표 1은 그 결과를 보여 주고 있다. 평균 오차는 표적의 위치 추정치에서 표적의 실제 위치 값을 뺀 값을 평균하여 구하였으며, RMSE 값은 다음과 같이 정의하여 구하였다.

$$\text{RMSE} = \sqrt{E[(\hat{x}_t - x_t)^2 + (\hat{y}_t - y_t)^2]} \quad (24)$$

표 1에서 제안한 표적위치 추정기법이 Zhou의 기법 보다  $y$  위치 추정치 오차가 많이 개선됨을 확인할 수 있으며, RMSE 값이 40.7% 향상됨을 확인할 수 있다.

## V. 결 론

Zhou의 라인피팅을 이용한 표적위치 추정기법은 ML 기법에 비해 음파전달 모델에 대한 파라미터들을 추정할 필요가 없으며, 연산량이 적고, 분산센서망에서 센서들이 표적을 탐지했다는 정보만 이용하기 때문에 데이터처리 센터는 적은 량의 데이터만 수집하여도 된다는 장점을 가지고 있다. 그러나 Zhou의 기법은 표적의 위치 추정오차가 크다는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 Zhou 기법의 위치 추정오차를 줄이기 위하여 센서의 상관기에서 구한 상호상관 값 크기를 고려하는 총 제곱 거리 식을 제안하였다. 제안한 총 제곱 거리 식을 적용함으로써 Zhou의 표적위치 추정기법을 수정하여 새로운 표적위치 추정기법을 제안하였다. 제안한 기법의 성능을 확인하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며, 제안한 기법이 Zhou 기법 보다 RMSE가 40.7% 향상됨을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

[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] Q. Zhao, A. Swami, and L. Tong, "The interplay between signal processing and networking in sensor networks," *IEEE Signal Processing Mag.*, vol. 23, no. 4, pp. 84-93, Jul. 2006.

[8] S. Zhou and P. Wilett, "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] 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.

[10] J. Chamberland and V. V. Veeravalli, "Asymptotic results for detection in power constrained wireless sensor networks," in *Proc. IEEE Int. Symp. Inform. Theory (ISIT'2003)*, Yokohama, Japan, June - July 2003, p. 230.

[11] J. Chamberland and V. V. Veeravalli, "The impact of fading on decentralized detection in power constrained wireless sensor networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoust. Speech, Signal Processing (ICASSP'2004)*, Montreal, Canada, vol. 3, pp. 837-840, May 2004.

[12] J. Chamberland and V. V. Veeravalli, "Asymptotic results for decentralized detection in power constrained wireless sensor networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 22, pp. 1007 - 1015, Aug. 2004.

[13] J. Xiao and Z-Q. Luo, "Decentralized detection in a bandwidth constrained sensor network," in *Proc. IEEE GLOBECOM 2004*, Dallas, TX, vol. 1, pp. 123-128, Nov. 2004.

[14] J. Xiao and Z-Q. Luo, "Universal decentralized

detection in a bandwidth constrained sensor network," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 53, pp. 2617 - 2624, Aug. 2005.

- [15] S. A. Aldosari and J. M. F. Moura, "Detection in decentralized sensor networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing*, Montreal, Canada, vol. 2, pp. 277-280, May 2004.

---

— 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  
부교수

<주관심분야 : 배열신호처리, 이동통신, 표적 탐  
지 및 추적>