

# 선배열 센서를 이용한 근거리 다중 표적 위치 추적 알고리즘

## Multiple Target Position Tracking Algorithm for Linear Array in the Near Field

황 수 북\*, 김 진 석\*, 김 현 식\*, 박 명 호\*, 남 기 곤\*\*

(Hwang, Soo-Bok\*, Kim, Jin-Seok\*, Kim, Hyun-Sik\*, Park, Myung-Ho\*, Nam, Ki-Gon\*\*)

\*국방과학연구소 제2체계개발본부 수중탐지체계부 1팀, \*\*부산대학교 전자공학과

(접수일자: 2005년 5월 31일; 수정일자: 2005년 6월 15일; 채택일자: 2005년 7월 20일)

지금까지 근거리 다중 표적에 대한 위치 추적은 2차원 MUSIC (MUltiple SIgnal Classification) 기법 등으로 표적의 위치를 추정하여 JPDA (Joint Probabilistic Data Association) 필터 등의 순차적 상태 추정 알고리즘을 적용해 왔다. 그러나 이러한 방법은 데이터 연관 과정을 해결해야 할 뿐 아니라 샘플 기간마다 표적의 위치를 추정하기 위해 많은 격자를 탐색해야 하므로 연산량 부하가 가중된다. 또한 다수의 표적이 근접하여 위치할 경우 각 표적에 대한 위치 추정 오차가 크게 되어 위치 추적 성능이 저하되는 단점이 있다. 본 논문에서는 근거리 음장 (near field)에서의 선배열 센서 출력 신호 공분산 행렬로부터 위치 변위를 추정하여 근거리 다중 표적에 대한 위치 추적이 가능한 알고리즘을 제안하였으며, 근접 및 교차 표적에 대한 모의실험을 수행하여 그 성능의 우수함을 확인하였다.

**핵심용어:** 근거리 표적, 다중 표적 위치 추적, 배열 센서, 고유 벡터

**투고분야:** 수중음향분야 (5.6)

Generally, traditional approaches to track the target position are to estimate ranges and bearings by 2-D MUSIC (MUltiple SIgnal Classification) method, and to associate estimates of 2-D MUSIC made at different time points with the right targets by JPDA (Joint Probabilistic Data Association) filter in the near field. However, the disadvantages of these approaches are that these have the data association problem in tracking multiple targets, and that these require the heavy computational load in estimating a 2-D range/bearing spectrum. In case multiple targets are adjacent, the tracking performance degrades seriously because the estimate of each target's position has a large error. In this paper, we proposed a new tracking algorithm using position innovations extracted from the sensor output covariance matrix in the near field. The proposed algorithm is demonstrated by the computer simulations dealing with the tracking of multiple closing and crossing targets.

**Keywords:** Near Field, Multi-target Tracking, Array Sensor, Eigenvector

**ASK subject classification:** Underwater Acoustics (5.6)

### I. 서론

군사적 목적의 수중음향 시스템에서는 탐지된 표적의 위협도를 분석하여 이에 대응할 수 있는 무기체계를 선택하고 그의 운용을 위해서 이동 표적에 대한 위치, 침로, 속력 등의 상태를 추정하는 기술은 필수적이다. 특

히 감시영역에 근접 또는 교차 표적 등이 존재하는 다수 이동 표적 상황에서 선형 배열된 센서에 의한 표적 위치 추적 기술은 매우 어려운 문제로 다양한 접근방법으로 연구되어 왔다[1-4]. 일반적으로 선배열 센서에 수신된 신호로부터 기동 표적의 위치 추적을 위해서는 표적 방위 추적 및 방위각을 이용한 표적 기동 분석 (BOTMA : Bearings-Only Target Motion Analysis) 과정이 필요하다. 최근 PARK, RYU 등은 다중 표적의 방위 추적에 대한 문제를 해결하기 위하여 배열 센서의 출력 신호에

책임저자: 황 수 북 (ssbhwang@hanafos.com)  
경남 진해시 진해우체국 사서함 18호 국방과학연구소 수탐1팀  
(전화: 055-540-6215; 팩스: 055-542-3737)

서 추정할 수 있는 공분산 행렬의 신호 부공간 (signal subspace)에서 추출한 표적 방위 변위를 칼만 필터에 적용함으로써 별도의 데이터 연관 과정이 필요 없는 구조가 단순한 방위 추적 기법을 제시하였다[5-8]. 그러나 이러한 기법들은 표적이 센서로부터 원거리에 위치하여 평면파 조건을 만족할 때 적용되는 알고리즘으로써 표적이 센서와 근거리에 존재하면 더 이상 표적 위치 추적에 적용이 불가능하다.

지금까지 근거리 다중 표적에 대한 위치 추적은 2차원 MUSIC (Multiple Signal Classification) 기법 등으로 표적의 위치를 추정하여 JPDA (Joint Probabilistic Data Association) 필터 등에 의한 순차적 상태 추정 알고리즘을 적용해 왔다. 그러나 이러한 방법은 데이터 연관 과정을 해결해야할 뿐 아니라 샘플 기간마다 표적의 위치를 추정하기 위해 많은 격자를 탐색해야 하므로 연산량 부하가 가중된다. 특히 다수의 표적이 근접하여 있는 경우 방위 또는 거리 분해능의 한계로 각 표적에 대한 위치 추정 오차가 크게 되므로 위치 추적 성능이 저하되는 단점이 있다[9-10].

이러한 단점을 개선하기 위하여 본 논문에서는 RYU의 방위 변위 추정 기법을 근거리 음장 (near field)에서 적용할 수 있는 위치 변위 추정 기법으로 변형하여 근거리 다중 표적에 적용함으로써 별도의 연관 과정이 필요 없는 단순 구조의 근거리 다중 표적 위치 추적 알고리즘을 제안하였다. 서론에 이어 2장에서는 근거리 음장에서 배열 센서 모델 특성을 고찰하며, 3장에서는 배열 센서의 출력 신호 공분산 행렬로부터 표적 위치 변위 추정 기법과 순차적 상태 추정에 의한 근거리 다중 표적 위치 추적 알고리즘에 대해 기술한다. 그리고 4장에서는 제안 알고리즘의 성능을 입증하기 위해 근접 및 교차로 기동하는 표적에 대한 모의실험 결과를 설명하고, 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 근거리 음장 모델

[그림 1]과 같이  $M$ 개의 센서가 거리  $d$  만큼 등간격으로 선형 배열된 무지향 센서에는  $K(K < M - 1)$ 개의 표적에서 발생하는 현대역 신호와 배경 잡음 신호가 수신되고, 표적은 센서와 동일 평면에서 이동한다고 가정한다. 만약  $t$ 시간에 표적  $k$ 의 방위가  $\theta_k(t)$ 이고, 기준점(센서

#1)으로부터 표적  $k$ 의 거리가  $r_k(t)$ 이면  $m$ 번째 센서와 표적간의 거리는 식 (1)과 같다.

$$r_{km}(t) = \sqrt{r_k^2(t) + (m-1)^2 d^2 - 2(m-1)d r_k(t) \cos(t)} \quad (1)$$

여기서,  $r_{km}(t) \equiv r_k(t)$ 이다. 따라서  $m$ 번째 센서의 출력 신호는 식(2)와 같이 표현된다.

$$r_m(t) = \sum_{k=1}^K f_k(t) e^{-\frac{j\omega}{c}(r_{km}(t) - r_k(t))} + n_m(t) \quad (2)$$

여기서,  $f_k(t)$ 는 표적  $k$ 로부터 발생하여 중심주파수가  $\omega$ 인 복소 신호로 각 표적은 상호 독립 (independent) 관계임을 가정한다.  $c$ 는 매질에서의 음파 전달 속력이며,  $n_m(t)$ 는  $m$ 번째 센서에 수신된 배경 잡음으로 평균이 0이고, 공분산이  $\sigma^2$ 인 백색 (white) 잡음으로 상호간에는 무상관 (uncorrelated)으로 가정한다. 이때 표적  $k$ 에 대한  $M$ 차원의 조향 벡터  $\mathbf{a}_k(t)$ 는 식(3)과 같이 정의할 수 있다.

$$\mathbf{a}_k(t) = [1 \ \gamma_k(t) \ \dots \ \gamma_k^{M-1}(t)]^T \quad (3)$$

여기서,  $\gamma_k^{m-1}(t) = e^{-\frac{j\omega}{c}(r_{km}(t) - r_k(t))}$ ,  $m = 2, \dots, M$ 이고, 위첨자  $T$ 는 전치 행렬을 의미한다.

또한 센서의 잡음과 표적 신호는 무상관으로 가정하면 배열 센서 출력 신호의 공분산 행렬은 식(4)와 같다.

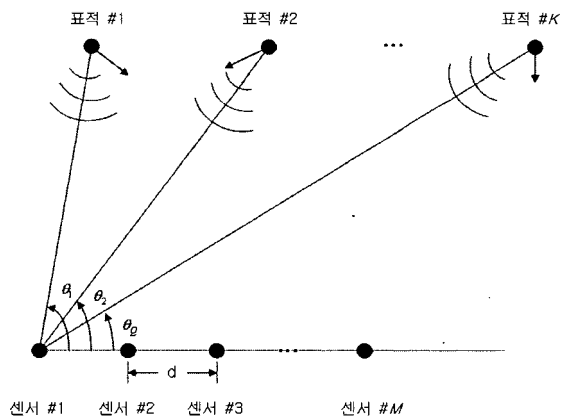


그림 1. 선배열 센서와 이동 표적 간의 기하학 구조  
Fig 1. Geometry of moving target and linear array.

$$\begin{aligned} C_r(t) &= E\{ \mathbf{r}(t) \mathbf{r}^H(t) \} \\ &= \mathbf{A}(t) C_r(t) \mathbf{A}^H(t) + C_n(t) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서,  $\mathbf{r}(t)=[r_1(t) \cdots r_m(t)]^T$ ,  $\mathbf{A}(t)=[\mathbf{a}_1(t) \cdots \mathbf{a}_K(t)]$  이고, 위첨자  $H$ 는 복소 공액 (complex conjugate) 전치 행렬을 의미한다. 그리고 잡음 신호의 공분산 행렬  $C_n(t)$ 은 크기가  $M \times M$ 이고, 표적 신호 공분산 행렬  $C_r(t)$ 은 크기가  $K \times K$ 로 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} C_n(t) &= E\{ \mathbf{n}(t) \mathbf{n}^H(t) \} \\ C_r(t) &= E\{ \mathbf{f}(t) \mathbf{f}^H(t) \} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서,  $\mathbf{n}(t)=[n_1(t) \cdots n_M(t)]^T$ ,  $\mathbf{f}(t)=[f_1(t) \cdots f_K(t)]^T$  이다.

### III. 제안 알고리즘

표적  $k$ 가 등속도 운동을 할 때, 표적의 상태 벡터를  $\mathbf{x}_k(t)=[x_k(t) \dot{x}_k(t) y_k(t) \dot{y}_k(t)]^T$ 로 표적의 방위와 거리에 대한 측정 벡터를  $\mathbf{z}_k(t)=[\theta_k(t) \eta_k(t)]^T$ 로 정의하면, 표적  $k$ 의 동적 방정식 및 측정 방정식은 식 (6)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_k(t+1) &= \mathbf{f}(\mathbf{x}_k(t)) + \mathbf{v}_k(t) \\ \mathbf{z}_k(t) &= \mathbf{h}(\mathbf{x}_k(t)) + \mathbf{w}_k(t) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서,  $\mathbf{f}(\mathbf{x}_k(t))$ 는 표적 상태 천이 함수이며,  $\mathbf{h}(\mathbf{x}_k(t))$ 는 측정 함수이다.  $\mathbf{v}_k(t)$ 는 표적  $k$ 에 대한 공정 잡음 (process noise)으로 평균이 영이고, 공분산은 식 (7)과 같은 정규분포 특성을 갖는 확률 변수이며,  $\mathbf{w}_k(t)$ 는 측정 잡음 (measurement noise)으로 평균이 영이고, 공분산은 식 (8)과 같은 정규분포 특성을 갖는 확률 변수로 가정한다.

$$E[\mathbf{v}_k(t) \mathbf{v}_k^T(t)] = \mathbf{Q}(t) \quad (7)$$

$$E[\mathbf{w}_k(t) \mathbf{w}_k^T(t)] = \mathbf{R}(t) \quad (8)$$

일반적으로  $t$ 시간에서 표적  $k$ 의 방위 및 거리  $\mathbf{z}_k(t)$

가 측정되어지면 표적  $k$ 의 상태 벡터 추정치  $\hat{\mathbf{x}}_k(t)$ 는 확장 칼만 필터 이론에 따라 식 (9)와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}}_k(t) &= \hat{\mathbf{x}}_k(t-1) + \mathbf{G}_k(t) \cdot (\mathbf{z}_k(t) - \hat{\mathbf{z}}_k(t-1)) \\ &= \hat{\mathbf{x}}_k(t-1) + \mathbf{G}_k(t) \cdot \nu_k(t) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서,  $\hat{\mathbf{x}}_k(t-1)$ ,  $\hat{\mathbf{z}}_k(t-1)$ 는 각각  $t-1$ 시간에서의 표적  $k$ 의 상태 벡터로부터  $t$ 시간에서의 표적 상태 벡터와 측정 벡터에 대한 예측치를 나타낸다. 그리고  $\mathbf{G}_k(t)$ 는 표적  $k$ 에 대한 칼만 이득,  $\nu_k(t)$ 는 이노베이션 (innovation)이다. 따라서 식 (9)에서 보는바와 같이 다중 표적 상황에서 각각의 표적에 대한 이노베이션 추정이 가능하다면 확장 칼만 필터 이론을 이용한 순차적 추정 기법에 따라 쉽게 표적의 상태 벡터를 추정할 수 있음을 알 수 있다.

$\lambda_m(t)$ 과  $\mathbf{e}_m(t)$ 를 공분산 행렬  $C_r(t)$ 의 고유치 (eigenvalue)와 고유 벡터 (eigenvector)라 하면, 고유 벡터 분해에 의해  $\Sigma(t) = \text{diag}(\lambda_1(t), \dots, \lambda_M(t))$ 와  $\mathbf{U}(t) = [\mathbf{e}_1(t) \cdots \mathbf{e}_M(t)]$ 인  $C_r(t) = \mathbf{U}(t) \Sigma(t) \mathbf{U}^H(t)$ 로 표현되며 내림차순으로 정렬된 고유치는 식 (10)과 같이 주어진다.

$$\lambda_1(t) \geq \dots \geq \lambda_K(t) > \lambda_{K+1}(t) = \dots = \lambda_M(t) = \sigma^2 \quad (10)$$

이때,  $m=1, \dots, K$ 인 우세한 고유치와 관련된 고유 벡터의 쌍인  $(\lambda_m(t), \mathbf{e}_m(t))$ 을 각각 신호 고유치와 신호 고유 벡터라 하며, 반면에  $m=K+1, \dots, M$ 에 대한  $(\lambda_m(t), \mathbf{e}_m(t))$ 은 각각 잡음 고유치와 잡음 고유 벡터라 한다. 또한, 신호 고유 벡터의 열 생성 (column spans)인  $\mathbf{E}_S(t) = [\mathbf{e}_1(t) \cdots \mathbf{e}_K(t)]$ 를 신호 부공간이라 하며, 잡음 고유 벡터의 열 생성인  $\mathbf{E}_N(t) = [\mathbf{e}_{K+1}(t) \cdots \mathbf{e}_M(t)]$ 를 잡음 부공간이라 한다. 표적 신호간에 무상관으로 가정하였으므로 식 (3)에서 정의한 표적  $k$ 의 조향 벡터  $\mathbf{a}_k(t)$ 는 식 (11)에서 보는 바와 같이 신호 부공간  $\mathbf{E}_S(t)$ 와 선형결합 관계이다[6].

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_k(t) &= c_{k1}(t) \mathbf{e}_1(t) + c_{k2}(t) \mathbf{e}_2(t) + \dots + c_{kM}(t) \mathbf{e}_M(t), \\ k &= 1, \dots, K \end{aligned} \quad (11)$$

여기서,  $\{c_{km}(t); k=1, \dots, K, m=1, \dots, M\}$ 는 복소 상수이다. 따라서 표적 조향 벡터는 신호 부공간 내에 존재하기 때문에 조향 벡터를 신호 부공간에 투영 (projection)하면 투영 오차는 0이 되어야 하므로 식 (12)와 같이 표현 가능하다.

$$\mathbf{P}_E^\perp(t) \cdot \mathbf{a}_k(t) = 0, \quad k=1, \dots, K \quad (12)$$

여기서,  $\mathbf{P}_E^\perp(t) = \mathbf{I} - \mathbf{E}_S(t)(\mathbf{E}_S^H(t)\mathbf{E}_S(t))^{-1}\mathbf{E}_S^H(t)$ 는 투영 행렬이며,  $\mathbf{I}$ 는  $M \times M$ 인 단위 행렬이다. 위치 이노베이션을  $\nu_k(t) = [\delta\theta_k(t) \ \delta\eta_k(t)]^T$ 라 하면, 표적  $k$ 에 대한 측정 벡터와 확장 칼만 필터에 의한 측정 벡터 예측치 및 위치 이노베이션의 관계는 식 (13)과 같이 나타낼 수 있으며,  $\delta\theta_k(t)$ ,  $\delta\eta_k(t)$ 는 각각 방위 및 거리 이노베이션을 나타낸다.

$$\mathbf{z}_k(t) = \begin{bmatrix} \theta_k(t) \\ \eta_k(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\theta}_k(At-1) \\ \hat{\eta}_k(At-1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta\theta_k(t) \\ \delta\eta_k(t) \end{bmatrix} \quad (13)$$

$t$ 시간과  $t-1$ 시간의 간격이 충분히 적으면  $\delta\theta_k(t)$ 와  $\delta\eta_k(t)$ 의 값은 충분히 적다고 가정할 수 있으므로, 식 (3)에서 나타낸 표적 조향 벡터의  $m$ 번째 항은 식 (13)을 이용하여 식 (14)과 같이 근사화할 수 있다.

$$\gamma_k^{m-1}(t) \approx \hat{\gamma}_k^{m-1}(At-1) + \alpha_k^{m-1} \hat{\gamma}_k^{m-1}(At-1) \delta\theta_k(t) + \beta_k^{m-1} \hat{\gamma}_k^{m-1}(At-1) \delta\eta_k(t) \quad (14)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \hat{\gamma}_k^{m-1}(At-1) &= e^{-j\pi(m-1)(\hat{\eta}_k(At-1) - \hat{\eta}_k(t-1))} \\ \hat{\eta}_k(At-1) &= \sqrt{\hat{\eta}_k^2(t-1) + (m-1)^2 d^2 - 2(m-1)d\hat{\eta}_k(t-1)\cos\hat{\theta}_k(At-1)} \\ \alpha_k^{m-1} &= \frac{j\pi(m-1)d\hat{\eta}_k(At-1)\sin\hat{\theta}_k(At-1)}{c\hat{\eta}_k(At-1)} \\ \beta_k^{m-1} &= \frac{j\pi\hat{\eta}_k(At-1) \cdot (m-1)d\cos\hat{\theta}_k(At-1)}{c\hat{\eta}_k(At-1)} \end{aligned}$$

이다. 그러므로 식 (14)을 표적 조향 벡터  $\mathbf{a}_k(t)$ 에 대입하면 식 (15)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{a}_k(t) = \hat{\mathbf{a}}_k(At-1) + \hat{\mathbf{b}}_k(At-1) \nu_k(t) \quad (15)$$

여기서,

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{a}}_k(At-1) &= [1 \ \hat{\gamma}_k(At-1) \ \dots \ \hat{\gamma}_k^{M-1}(At-1)]^T \\ \hat{\mathbf{b}}_k(At-1) &= \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \alpha_k \hat{\gamma}_k(At-1) & \beta_k \hat{\gamma}_k(At-1) \\ \vdots & \vdots \\ \alpha_k^{M-1} \hat{\gamma}_k^{M-1}(At-1) & \beta_k^{M-1} \hat{\gamma}_k^{M-1}(At-1) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

이다. 따라서 식 (15)에서 나타낸 표적 조향 벡터  $\mathbf{a}_k(t)$ 를 표적 조향 벡터와 신호 부공간과의 관계로부터 도출한 식 (12)에 대입하면 식 (16)와 같은 선형 방정식을 구할 수 있다.

$$\mathbf{u}_k(t) \nu_k(t) = \mathbf{y}_k(t), \quad k=1, \dots, K \quad (16)$$

여기서,  $\mathbf{u}_k(t) = \mathbf{P}_E^\perp(t) \cdot \hat{\mathbf{b}}_k(At-1)$ ,  $\mathbf{y}_k(t) = -\mathbf{P}_E^\perp(t) \cdot \hat{\mathbf{a}}_k(At-1)$ 이다.

최종적으로 이노베이션  $\nu_k(t)$ 는 실수 벡터이므로 식 (16)의 최소자승해로부터 식 (17)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \nu_k(t) &= (\tilde{\mathbf{u}}_k^T(t) \tilde{\mathbf{y}}_k(t)) (\tilde{\mathbf{u}}_k^T(t) \tilde{\mathbf{u}}_k(t))^{-1}, \\ k &= 1, \dots, K \end{aligned} \quad (17)$$

여기서,  $\tilde{\mathbf{u}}_k(t) = [\mathbf{u}_{kR}(t) \ \mathbf{u}_{kI}(t)]^T$ ,  $\tilde{\mathbf{y}}_k(t) = [\mathbf{y}_{kR}(t) \ \mathbf{y}_{kI}(t)]^T$ 이며,  $\mathbf{u}_{kR}(t)$ ,  $\mathbf{y}_{kR}(t)$ 와  $\mathbf{u}_{kI}(t)$ ,  $\mathbf{y}_{kI}(t)$ 는 각각  $\mathbf{u}_k(t)$ 와  $\mathbf{y}_k(t)$ 의 실수부와 허수부이다. 따라서 식 (17)에서 구한 표적  $k$ 에 대한 이노베이션  $\nu_k(t)$ 는 식 (12)에 따라 각 표적에 직접적으로 연관된 위치 이노베이션을 나타내므로 식 (9)에 따라 상태 벡터를 추정함으로써 별도의 연관 과정 없이 근거리 다중 표적 위치 추적이 가능하다.

### IV. 시뮬레이션 결과

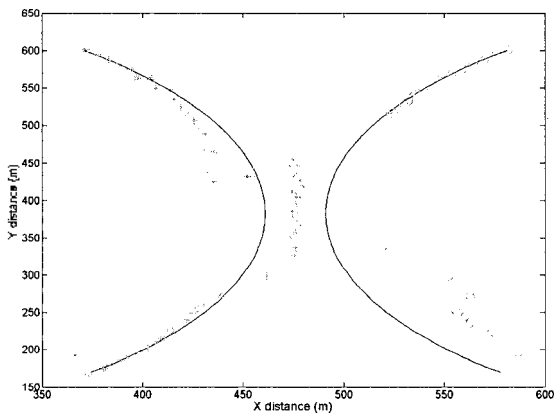
본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 검증하기 위해서 [그림 1]에서 나타낸 센서간의 간격이 표적 신호 파장의 1/2인 48개의 음향 센서로 구성된 선배열 센서를 사용하였고, 센서에 수신된 배경 잡음 신호의 분산  $\sigma^2$ 은 1, 관측 시간동안의 스냅샷 수  $N$ 은 256, 관측 주기  $L$ 는 1 초로 가정하였다. 각 표적은 근거리 음향조건인 Fresnel 거리[11] 이하를 만족하는 위치 영역에서 가동하도록 시나리오를 구성하였다. 시뮬레이션에 적용된 추적 필터는

표적의 운동 모델과 동일하게 적용하였으며, 초기치는 1시간 간격으로 2차원 MUSIC 알고리즘을 이용하여 각 표적에 대한 방위 및 거리를 산출하고, 일괄 추정 (Batch processing) 알고리즘에 의해 표적의 상태 벡터 및 공분산 행렬을 추정하여 적용하였다.

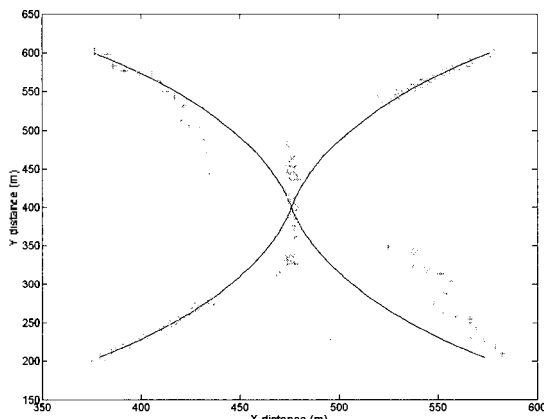
근접 및 교차 기동 표적 시나리오에 대해 시뮬레이션을 수행하는 과정에서 제안 알고리즘은 정상적인 추적 성공률을 보였으나, 2차원 MUSIC 기법의 위치 추정에 의한 JPDA 필터는 표적간의 이격 거리가 가까워짐에 따라 방위 및 거리 분해능의 한계로 추적이 실패하였다. [그림 2]는 신호 크기가 5dB인 근접 및 교차 기동 표적 시나리오에 대해 2차원 MUSIC 알고리즘을 이용한 위치 추정 결과로서 표적간의 이격 거리가 가까워짐에 따라 위치 오차가 급격하게 증가하여 정상적인 추적이 불가능함을 알 수 있다. 반면, [그림 3]은 동일한 시나리오에 대

해 제안 알고리즘에 의한 전형적인 위치 추적 수행 결과를 나타낸 것으로 성공적인 표적 추적이 이루어짐을 알 수 있다.

[표 1]과 [표 2]는 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 확인하기 위해 근접 및 교차 기동하는 2개의 표적 시나리오에 대한 몬테 카를로 시뮬레이션 100회를 수행한 결과이다. [표 1]은 신호 크기가 0dB, 5dB, 10dB인 근접 기동하는 표적에 대해 표적간의 최근접 거리에 따른 위치 추적 오차를 나타낸 것으로 신호대 잡음비가 높을수록 추적 오차가 감소함을 알 수 있다. 그리고 신호대 잡음비가 낮으면 표적간의 근접 거리가 가까워질수록 추적 오차가 증가하나, 신호 크기가 강하면 표적간의 근접 거리에는 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 그리고 [표 2]는 신호 크기가 0dB, 5dB, 10dB인 교차 기동하는 표적에 대한 위치 및 속도 오차로서 신호 크기가 강해질수



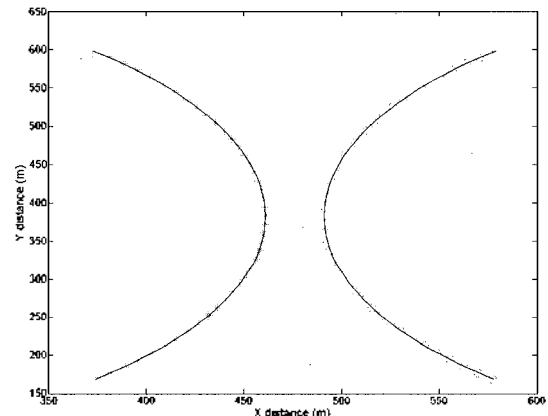
(a)



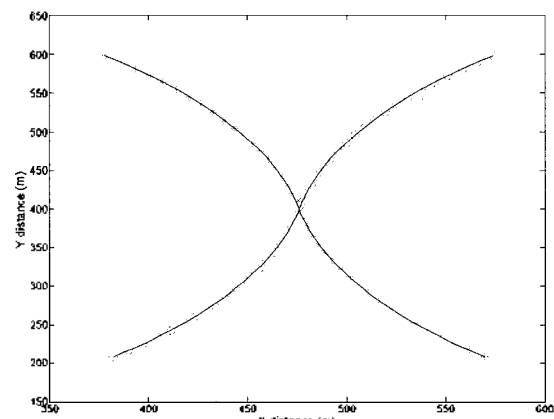
(b)

그림 2. 2차원 MUSIC 알고리즘을 이용한 기동 표적 위치 추정 결과(실선: 실제값, \*: 표적 #1 추정값, o: 표적 #2 추정값)  
(a) 근접 기동 표적, (b) 교차 기동 표적

Fig 2. Simulation result for the maneuvering targets using 2D MUSIC algorithm (solid: exact value, \*: estimated value of target #1, o: estimated value of target #2)  
(a) Closing targets, (b) Crossing targets



(a)



(b)

그림 3. 제안 알고리즘을 이용한 기동 표적 위치 추적 결과(실선: 실제값, \*: 표적 #1 추적값, o: 표적 #2 추적값)  
(a) 근접 기동 표적, (b) 교차 기동 표적

Fig 3. Simulation result for the maneuvering targets (solid: exact value, \*: tracked value of target #1, o: tracked value of target #2)  
(a) Closing targets, (b) Crossing targets

표 1. 제안 알고리즘의 근접 기동 표적에 대한 추적 결과

Table 1. Tracking result of proposed algorithm for the closing targets.

SNR	10m		20m		30m	
	$\sigma_x^2 (m^2)$	$\sigma_y^2 (m^2)$	$\sigma_x^2 (m^2)$	$\sigma_y^2 (m^2)$	$\sigma_x^2 (m^2)$	$\sigma_y^2 (m^2)$
0dB	3.5887	2.3458	2.1229	2.2963	1.3881	2.0273
5dB	0.3409	0.3669	0.2686	0.3654	0.2243	0.3490
10dB	0.0629	0.0930	0.0603	0.0948	0.0604	0.0965

표 2. 제안 알고리즘의 교차 기동 표적에 대한 추적 결과

Table 2. Tracking result of proposed algorithm for the crossing targets.

SNR	RMSE	Position		Velocity	
		$\sigma_x^2 (m^2)$	$\sigma_y^2 (m^2)$	$\sigma_{v_x}^2 (m^2/s^2)$	$\sigma_{v_y}^2 (m^2/s^2)$
0dB		1.9354	2.0899	0.1347	0.2346
5dB		0.2751	0.3518	0.0365	0.0629
10dB		0.0730	0.0955	0.0114	0.0146

록 추적 성능이 양호함을 알 수 있다. 따라서 제안 알고리즘은 근거리 다중 표적에 대해 정상적인 위치 추적이 가능함을 확인할 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 배열 센서의 출력 신호 공분산 행렬로부터 추정할 수 있는 신호 고유 벡터와 표적 조향 벡터가 선형결합 관계임을 이용하여 근거리 다중 표적에 대한 위치 추적 알고리즘을 제안하였다. 근거리 다중 표적의 위치 추적에 대한 기존 알고리즘은 데이터 연관 문제의 해결과 많은 연산량을 필요로 하며, 특히 다수의 표적이 근접하는 경우 성능이 급격히 저하된다. 그러나 제안 알고리즘은 단순한 순환 필터 구조로 이러한 단점을 해결하였으며, 근접 및 교차로 기동하는 다중 표적에 대한 시뮬레이션 결과를 통하여 제안 알고리즘의 성능을 확인하였다.

### 참고 문헌

1. BAR-SHALOM, Y., FORTMANN, T.E., 'Tracking and data association' (Academic Press, Inc., 1988).
2. Nardone, S. C., Aidala, V. J., 'Observability criteria for bearings-only target motion analysis', IEEE trans. Aerosp. Electron Syst., 1981, 17 (2), 162-166.
3. Song, T. L. 'Observability of target tracking with bearings-only measurement', IEEE trans. Aerosp.

- Electron Syst., 1991, 28 (4), 1076-1080.
4. Jauffret, C., Pillon, D., 'Observability in passive target motion analysis', IEEE trans. Aerosp. Electron Syst., 1996, 32 (4), 1290-1300.
5. PARK, S.B., RYU, C.S., and LEE, K.K., 'Multiple target angle tracking algorithm using predicted angles', IEEE trans. Aerosp. Electron Syst., 1994, AES-30 (2), 643-648.
6. RYU, C.-S., LEE, S.-H., LEE, K.-K., 'Multiple target angle tracking algorithm using angular innovations extracted from signal subspace', Electron. Lett., 1999, 35 (18), 1520-1522.
7. RYU, C.-S., LEE, J.-S., and LEE, K.-K., 'Multiple target angle-tracking algorithm with efficient equation for angular innovation', Electron. Lett., 2002, 38 (10), 483-484.
8. Hwang S. B., Kim J. S., Kim H. S., Nam K. G., 'Multiple target angle-tracking using angular innovations extracted from noise subspace', J. Acoust. Soc. Kor., 2005, 24 (1E), 34-37.
9. Huang, Y.-D., Barkat, M. 'Near-field multiple source localization by passive sensor array', IEEE trans. Ante. Prop., 1991, 39, pp. 968-975.
10. Starer, D., Nehorai, A., 'Passive localization of near-field sources by path following', IEEE trans. Sig. Proce., Mar. 1994, 42, 677-680.
11. Lurton X., 'An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications' (Praxis Publishing Ltd., 2002).

### 저자 약력

• 황수복 (Hwang, Soo-Bok)  
한국음향학회지 제19권 제8호 참조

- **김진석 (Kim, Jin-Seok)**  
한국음향학회지 제24권 제1E호 참조
- **김현식 (Kim, Hyun-Sik)**  
한국음향학회지 제24권 제1E호 참조
- **박명호 (Park, Myoung-Ho)**  
한국음향학회지 제19권 제7호 참조
- **남기곤 (Nam, Ki-Gon)**  
한국음향학회지 제24권 제1E호 참조