

논문 2005-42TE-2-1

# 임의형상 배열센서에 적용 가능한 다중표적 방위각 추적 알고리즘

(Multiple Target DOA Tracking Algorithm Applicable  
to Arbitrarily Shaped Array)

류 창 수\*

(Chang Soo Ryu)

## 요 약

Ryu 등은 선형 선배열센서를 이용하여 표적의 방위각 궤적을 추적하는 알고리즘을 제안하였다. Ryu 등이 제안한 방위각 추적 알고리즘은 선형 선배열센서의 출력신호를 이용하여 신호부공간을 추정하고, 추정된 신호부공간으로부터 각 표적의 방위각 이노베이션을 구하며, 이렇게 구한 방위각 이노베이션을 각 표적에 할당된 칼만필터의 입력으로 사용함으로써 표적의 방위각 궤적을 추적한다. 이러한 구조를 가지는 Ryu의 방위각 추적 알고리즘은 별도의 데이터연관 필터가 필요 없으며 효율적이라는 장점을 가지고 있다. 그러나 Ryu의 방위각 추적 알고리즘은 선형 선배열센서를 사용하는 환경에서 제안되었기 때문에 임의형상 배열센서에 적용하기에는 부적합하다. 배열센서를 사용하는 여러 응용분야에서 배열센서를 구성하는 센서들은 실제로 위치오차를 가지며, 배열센서는 임의형상 배열센서가 된다. 본 논문에서는 Ryu 알고리즘의 장점과 추적 성능을 그대로 유지하면서 임의형상 배열센서에 적용할 수 있는 방위각 추적 알고리즘을 제안한다.

## Abstract

Ryu et al. proposed a multiple target DOA tracking algorithm using a linear sensor array. In Ryu's algorithm, first, the signal subspace is estimated using sensor output and the angular innovations of targets are extracted from the estimated signal subspace. Next, the DOA's of targets are tracked using the angular innovations as the inputs of Kalman filters. Ryu's algorithm has good features that it has no data association problem and is efficient. However, Ryu's algorithm can't be applied to an arbitrarily shaped array because it was proposed using linear sensor array. Actually, when the sensor array is used in the various application fields, sensors have a position error. Therefore, the sensor array can be an arbitrarily shaped array. In this paper, we propose a multiple target DOA tracking algorithm applicable to an arbitrarily shaped array, and it sustains the good features of Ryu's algorithm.

**Keywords :** array signal processing, DOA tracking, data association, signal subspace, sensor calibration

## I. 서 론

소나, 통신, 산업응용 등 다양한 분야에서, 움직이는 표적의 방위각을 추적하기 위하여 선형 선배열센서(linear sensor array)가 널리 사용되고 있다<sup>[1-4]</sup>. 선형 선배열센서를 이용하여 표적의 방위각을 추적하는 기존

의 알고리즘은 방위각 추정 알고리즘과 추정된 방위각을 연관시켜 주는 데이터연관필터로 구성되어 있으며 복잡한 구조를 가지고 있다. 이 경우 방위각 추정 알고리즘은 MUSIC, WSF, ESPRIT 등이 잘 알려져 있으며, 데이터연관 필터는 PDAF, NNSF 등이 잘 알려져 있다<sup>[5-7]</sup>.

최근에 Ryu 등은 선형 선배열센서를 이용하여 표적의 방위각 궤적을 추적하는 방위각 추적 알고리즘을 제안하였다<sup>[8-9]</sup>. Ryu의 방위각 추적 알고리즘은 선형 선배열센서로부터 표적 신호를 획득하고, 획득한 신호를 배열신호처리(array signal processing)하여 신호부공간(signal subspace)을 추정한다. 그리고 이렇게 추정된

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

※ 이 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음. (KRF-2004-003-D00277)

접수일자: 2005년2월21일, 수정완료일: 2005년6월7일

신호부공간으로부터 표적의 방위각 이노베이션을 구하여 표적의 방위각 궤적을 추적하는데 사용한다. Ryu의 방위각 추적 알고리즘에서 신호부공간은 두 표본시간 사이의 간격인 표본간격 동안에 선형 선배열센서의 출력으로 얻은 단편(snapshot)들을 이용하여 PAST 알고리즘에 의해 추정된다. 여기서 사용하는 PAST 알고리즘은 선배열센서 출력의 단편들을 이용하여 신호부공간을 연속적으로 쇄신함으로써 신호부공간을 추적하는 신호부공간 추적 알고리즘이다<sup>[10]</sup>. Ryu의 방위각 추적 알고리즘은 표적추적을 위한 표본시간(sampling time)에서 추정된 신호부공간으로부터 표적의 방위각 이노베이션을 표적에 연관시켜 구하고, 이 방위각 이노베이션을 각 표적에 할당된 칼만필터의 입력으로 사용하여 표적의 상태벡터를 쇄신(update)함으로써 표적들의 방위각 궤적을 추적한다. 이러한 Ryu의 알고리즘은 기존의 방위각 추적 알고리즘과는 달리 별도의 데이터연관 필터가 필요 없으며 구조가 간단하고 효율적이라는 장점을 가지고 있다.

Ryu 등은 표적 신호를 획득하기 위하여 사용되는 배열센서는 그 배열센서를 구성하는 각 센서들이 일직선상에 일정한 간격으로 정확히 놓여 있는 선형 선배열센서로 가정하였으며, 이 선형 선배열센서 환경에서 신호부공간으로부터 방위각 이노베이션을 구하기 위한 식을 유도함으로써 방위각 추적 알고리즘을 제안하였다. 그러나 실제로 선형 선배열센서를 구성하는 각 센서들은 설치오차 또는 설치 후 발생하는 위치 변위 등에 의하여 위치오차를 가지게 된다. 선형 선배열센서를 구성하는 센서들의 위치오차는 센서들의 출력 신호를 이용하는 배열신호처리 기법의 성능을 현저히 감소시킨다. 그러므로 이를 극복하기 위하여 다양한 센서위치 보정(calibration) 기법을 이용하여 센서의 위치오차를 보정한다<sup>[11-12]</sup>. 위치가 보정된 센서들로 구성된 선배열센서의 형상은 더 이상 선형 선배열센서가 아니며, 센서들의 위치가 임의적으로 놓여진 임의의 형상을 가지는 임의형상 배열센서가 된다.

Ryu의 방위각 추적 알고리즘은 사용하는 배열센서가 선형 선배열센서라는 가정 하에서 신호부공간으로부터 방위각 이노베이션을 구하기 위한 식을 유도하였기 때문에 임의형상 배열센서에 Ryu의 알고리즘을 그대로 적용하는 경우 추적오차가 커지고, 추적 성공률이 떨어진다는 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 Ryu 알고리즘의 방위각 이노베이션을 구하는 식을 임의형상 배열센서에 적용 가능하도록 다

시 유도하고, 이를 이용하여 새로운 방위각 추적 알고리즘을 제안한다.

## II. 문제설정

그림 1은 표적의 방위각 추적을 위한 임의형상 배열센서와 표적 사이의 기하학적 구조를 설명하고 있다. 그림 1에서  $d_{mn}$ 이 직교 좌표계의 원점과  $m$ 번째 센서에 도달한  $n$ 번째 표적의 신호 사이의 거리이며, 표본시간  $k$ 에서의  $d_{mn}$ 은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$d_{mn} = x_m \sin \theta_n(k) + y_m \cos \theta_n(k) \quad (1)$$

여기서  $x_m$ 과  $y_m$ 은  $m$ 번째 센서의  $x$ 축과  $y$ 축의 좌표값이다.

$n$ 번째 표적신호에 대한 좌표의 원점과  $m$ 번째 센서사이에서의 시간지연  $\tau_{mn}(k)$ 는  $d_{mn}$ 과 신호의 전파속도  $c$ 를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \tau_{mn}(k) &= \frac{d_{mn}}{c} \\ &= \frac{x_m \sin \theta_n(k) + y_m \cos \theta_n(k)}{c} \end{aligned} \quad (2)$$

배열센서를 이용하여  $N$ 개의 표적을 추적할 때, 표본시간  $k$ 에서 배열센서의 출력은 다음과 같이 표현할 수 있다<sup>[2-3]</sup>.

$$\begin{aligned} \mathbf{r}(k) &= \sum_{n=1}^N s_n(k) \mathbf{a}(\theta_n(k)) + \mathbf{n}(k) \\ &= \mathbf{A}(k) \mathbf{s}(k) + \mathbf{n}(k) \end{aligned} \quad (3)$$

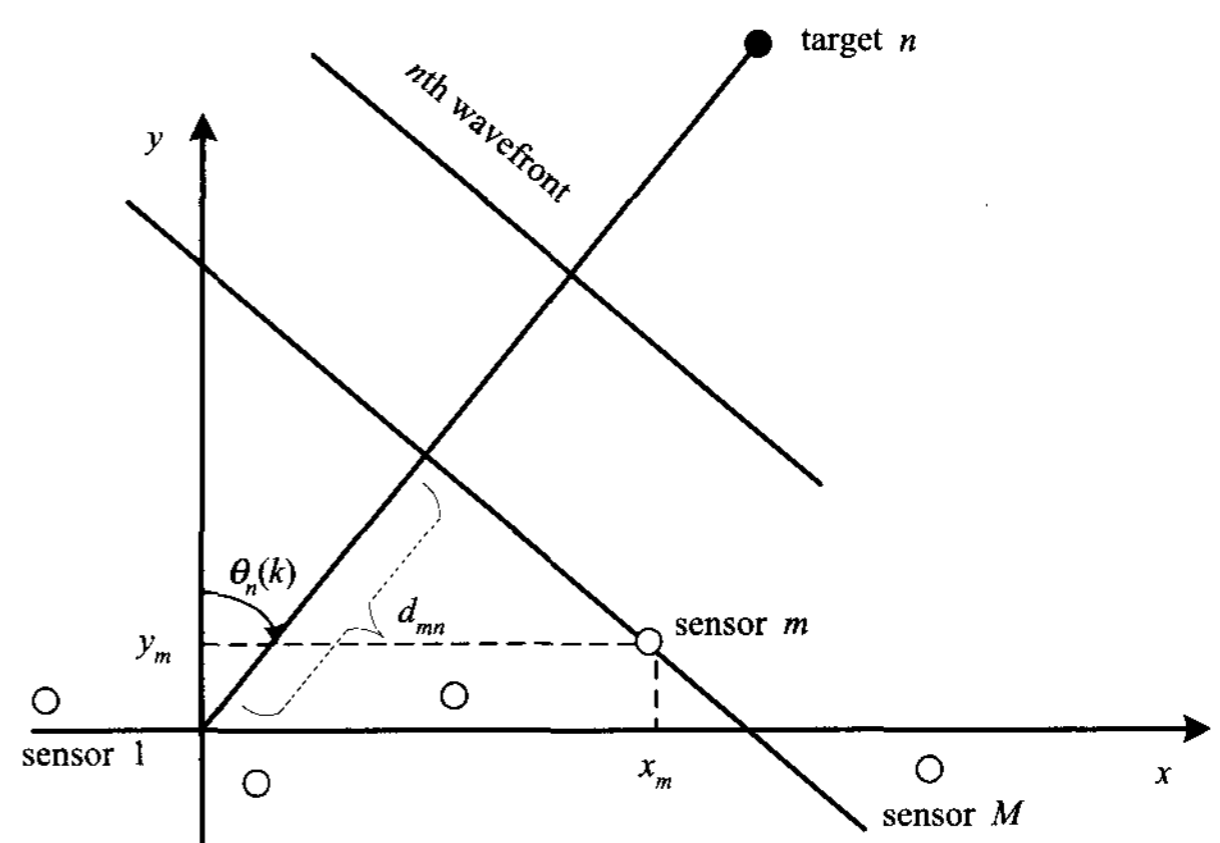


그림 1. 표적과 임의형상 배열센서의 기하학적 구조  
Fig. 1. Geometry of target and arbitrarily shaped array.

여기서  $s_n(k)$ 는  $n$ 번째 표적신호이고,  $r_m(k)$ 와  $n_m(k)$ 가  $m$ 번째 센서의 출력신호와 센서잡음일 때, 센서출력 벡터  $\mathbf{r}(k)$ , 신호벡터  $\mathbf{s}(k)$ , 센서잡음벡터  $\mathbf{n}(k)$ 는 다음과 같다.

$$\mathbf{r}(k) = [r_1(k), r_2(k), \dots, r_M(k)]^T$$

$$\mathbf{s}(k) = [s_1(k), s_2(k), \dots, s_N(k)]^T$$

$$\mathbf{n}(k) = [n_1(k), n_2(k), \dots, n_M(k)]^T$$

그리고 식 (3)에서  $A(k)$ 는 방위행렬이라 하며,  $A(k)$ 의  $(m,n)$ 번째 요소  $A_{mn}(k)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} A_{mn}(k) &= e^{j\omega\tau_{mn}(k)} \\ &= e^{j\frac{\omega}{c}(x_m \sin\theta_n(k) + y_m \cos\theta_n(k))} \end{aligned} \quad (4)$$

식 (3)과 (4)로부터, 방위행렬의  $n$ 번째 열인  $n$ 번째 표적의 조향벡터  $\mathbf{a}(\theta_n(k))$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\mathbf{a}(\theta_n(k)) = \begin{bmatrix} e^{j\omega\tau_{1n}(k)} \\ e^{j\omega\tau_{2n}(k)} \\ \vdots \\ e^{j\omega\tau_{Mn}(k)} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$= \begin{bmatrix} e^{j\frac{\omega}{c}(x_1 \sin\theta_n(k) + y_1 \cos\theta_n(k))} \\ e^{j\frac{\omega}{c}(x_2 \sin\theta_n(k) + y_2 \cos\theta_n(k))} \\ \vdots \\ e^{j\frac{\omega}{c}(x_M \sin\theta_n(k) + y_M \cos\theta_n(k))} \end{bmatrix}$$

### III. 제안한 방위각 추적 알고리즘

PAST와 같은 신호부공간 추적 알고리즘을 이용하면 배열센서의 출력값들로부터 신호부공간을 추정할 수 있다. 표본시간  $k$ 에서 추정한 신호부공간을  $W(k)$ 라고 하면, 조향벡터  $\mathbf{a}(\theta_n(k))$ 는 신호부공간  $W(k)$ 에 존재한다<sup>[10]</sup>. 따라서 신호부공간  $W(k)$ 에 조향벡터  $\mathbf{a}(\theta_n(k))$ 를 투영(projection)시키면 투영오차는 0이 되며, 이 사실을 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$P^\perp(k) \mathbf{a}(\theta_n(k)) = \mathbf{0} \quad (6)$$

여기서,

$$P^\perp(k) = I - P_r(k) \quad (7)$$

$$P_r(k) = W(k)(W^H(k)W(k))^{-1}W^H(k)$$

이며,  $P_r(k)$ 는 신호부공간  $W(k)$ 로 투영하는 투영행렬(projection matrix)이다. 그리고  $I$ 는 차원이  $M \times M$ 인 단위행렬이며,  $H$ 는 복소공액전치를 의미한다.

제안한 방위각 추적 알고리즘은 칼만필터 구조를 가지고 있으며, 표본시간  $k$ 에서  $n$ 번째 표적의 방위각  $\theta_n(k)$ 와 방위각 예측치  $\hat{\theta}_n(k|k-1)$  그리고 방위각 이노베이션  $\delta\theta_n(k)$ 의 관계는 다음과 같다.

$$\theta_n(k) = \hat{\theta}_n(k|k-1) + \delta\theta_n(k) \quad (8)$$

여기서 방위각 예측치  $\hat{\theta}_n(k|k-1)$ 는 칼만필터를 사용하여 구할 수 있다.

식 (8)을 식 (5)에 대입하면 식 (5)의  $m$ 번째 요소는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} e^{j\omega\tau_{mn}(k)} &= e^{j\frac{\omega}{c}(x_m \sin\theta_n(k) + y_m \cos\theta_n(k))} \\ &= e^{j\frac{\omega}{c}(x_m \sin(\hat{\theta}_n(k|k-1) + \delta\theta_n(k)) + y_m \cos(\hat{\theta}_n(k|k-1) + \delta\theta_n(k)))} \end{aligned} \quad (9)$$

식 (9)에서  $\delta\theta_n(k)$ 에 대하여 테일러급수를 1차항까지 전개하면, 다음 근사화 식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} e^{j\omega\tau_{mn}(k)} &\cong e^{j\frac{\omega}{c}(x_m \sin\hat{\theta}_n(k|k-1) + y_m \cos\hat{\theta}_n(k|k-1))} \\ &\quad + j\frac{\omega}{c}(x_m \cos\hat{\theta}_n(k|k-1) - y_m \sin\hat{\theta}_n(k|k-1)) \\ &\quad \times e^{j\frac{\omega}{c}(x_m \sin\hat{\theta}_n(k|k-1) + y_m \cos\hat{\theta}_n(k|k-1))} \delta\theta_n(k) \\ &= e^{j\omega\tau_{mn}(k|k-1)} \\ &\quad + j\frac{\omega}{c}(x_m \cos\hat{\theta}_n(k|k-1) - y_m \sin\hat{\theta}_n(k|k-1)) \\ &\quad \times e^{j\omega\tau_{mn}(k|k-1)} \delta\theta_n(k) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서

$$e^{j\omega\tau_{mn}(k|k-1)} = e^{j\frac{\omega}{c}(x_m \sin\hat{\theta}_n(k|k-1) + y_m \cos\hat{\theta}_n(k|k-1))}$$

식 (10)를 식 (5)에 대입하면, 방위각 이노베이션

$\delta\theta_n(k)$ 에 대한 다음과 같은 선형근사화 식을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{a}(\theta_n(k)) &= \begin{bmatrix} e^{j\omega\tau_{1n}(k|k-1)} \\ e^{j\omega\tau_{2n}(k|k-1)} \\ \vdots \\ e^{j\omega\tau_{Mn}(k|k-1)} \end{bmatrix} \\ &+ j\frac{\omega}{c} \begin{bmatrix} (x_1 \cos \theta_n(k|k-1) - y_1 \sin \theta_n(k|k-1))e^{j\omega\tau_{1n}(k|k-1)} \\ (x_2 \cos \theta_n(k|k-1) - y_2 \sin \theta_n(k|k-1))e^{j\omega\tau_{2n}(k|k-1)} \\ \vdots \\ (x_M \cos \theta_n(k|k-1) - y_M \sin \theta_n(k|k-1))e^{j\omega\tau_{Mn}(k|k-1)} \end{bmatrix} \\ &\times \delta\theta_n(k) \\ &= \mathbf{a}(\theta_n(k|k-1)) + \mathbf{b}_n(k|k-1)\delta\theta_n(k) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서

$$\begin{aligned} \mathbf{a}(\hat{\theta}_n(k|k-1)) &= e^{j\omega\tau_{1n}(k|k-1)}, e^{j\omega\tau_{2n}(k|k-1)}, \dots, e^{j\omega\tau_{Mn}(k|k-1)}^T \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{b}_n(k|k-1) &= j\frac{\omega}{c} \begin{bmatrix} (x_1 \cos \theta_n(k|k-1) - y_1 \sin \theta_n(k|k-1))e^{j\omega\tau_{1n}(k|k-1)} \\ (x_2 \cos \theta_n(k|k-1) - y_2 \sin \theta_n(k|k-1))e^{j\omega\tau_{2n}(k|k-1)} \\ \vdots \\ (x_M \cos \theta_n(k|k-1) - y_M \sin \theta_n(k|k-1))e^{j\omega\tau_{Mn}(k|k-1)} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (12)$$

식 (11)을 식 (6)에 대입하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P^\perp(k) \mathbf{a}(\theta_n(k)) &= P^\perp(k) (\hat{\mathbf{a}}(\theta_n(k|k-1)) + \mathbf{b}_n(k|k-1)\delta\theta_n(k)) \\ &= \mathbf{0} \end{aligned} \quad (13)$$

식 (13)을 이항 정리하면, 다음과 같은 선형방정식을 구할 수 있다.

$$\mathbf{u}_n(k)\delta\theta_n(k) = \mathbf{y}_n(k) \quad (14)$$

여기서,

$$\mathbf{u}_n(k) = P^\perp(k) \mathbf{b}_n(k|k-1),$$

$$\mathbf{y}_n(k) = -P^\perp(k) \mathbf{a}(\theta_n(k|k-1)).$$

방위각 이노베이션  $\delta\theta_n(k)$ 를 미지수로 가지는 선형방정식인 식 (14)에서  $\mathbf{u}_n(k)$ 과  $\mathbf{y}_n(k)$ 는 식 (7)과

식 (12)로부터 알고 있는 값이며  $M \times 1$  복소벡터이다. 각 표적의 방위각 이노베이션은 식 (14)에서 미지수  $\delta\theta_n(k)$ 를 구하면 된다.  $\delta\theta_n(k)$ 는 실수이고  $\mathbf{u}_n(k)$ 과  $\mathbf{y}_n(k)$ 는 복소수이므로 최소제곱법을 이용하여  $\delta\theta_n(k)$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\delta\theta_n(k) = \frac{\overline{\mathbf{u}_n(k)}^T \mathbf{y}_n(k)}{\overline{\mathbf{u}_n(k)}^T \mathbf{u}_n(k)}, \quad n=1,2,\dots,N \quad (15)$$

여기서,

$$\overline{\mathbf{u}_n(k)} = \begin{bmatrix} \mathbf{u}_{nR}(k) \\ \mathbf{u}_{nI}(k) \end{bmatrix}, \quad \overline{\mathbf{y}_n(k)} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{nR}(k) \\ \mathbf{y}_{nI}(k) \end{bmatrix} \text{ 이 고, } \mathbf{u}_{nR}(k) \text{ 와 } \mathbf{y}_{nR}(k) \text{ 는 복소벡터의 실수부이고, } \mathbf{u}_{nI}(k) \text{ 와 } \mathbf{y}_{nI}(k) \text{ 는 허수부이다.}$$

제안한 방위각 추적 알고리즘은 식 (15)에서 구한 각 표적의 방위각 이노베이션을 각 표적마다 할당된 칼만 필터의 상태벡터를 갱신하는데 사용함으로써 표적의 방위각 궤적을 추적한다. 제안한 방위각 추적 알고리즘은 다음과 같이 5단계로 요약할 수 있다.

**단계 1.** 표본시간  $k=-1,0$ 에서 표적들의 방위각을 추정하고, 이를 이용하여 각 표적에 칼만 필터의 상태벡터  $\hat{\mathbf{x}}_n$ 과 상태벡터의 공분산행렬  $P_n$ 을 다음과 같이 초기화한다. 여기서 칼만 필터는 등속도 모델을 사용한다.

$\hat{\mathbf{x}}_n(0|0) = \begin{bmatrix} \hat{\theta}_n(0|0) \\ \hat{\dot{\theta}}_n(0|0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\theta}_n(0) \\ \frac{\hat{\theta}_n(0) - \hat{\theta}_n(-1)}{T} \end{bmatrix}$

$$P_n(0|0) = \begin{bmatrix} \sigma_{z_n}^2 & \frac{\sigma_{z_n}^2}{T} \\ \frac{\sigma_{z_n}^2}{T} & \frac{\sigma_{z_n}^2}{T^2} \end{bmatrix}, \quad n=1,2,\dots,N$$

**단계 2.** 칼만 필터를 이용하여 상태벡터의 예측치  $\{\hat{\mathbf{x}}_n(k|k-1), n=1,2,\dots,N\}$ 을 계산하고, 이로부터 방위각 예측치  $\{\hat{\theta}_n(k|k-1), n=1,2,\dots,N\}$ 을 구한다.

**단계 3.** 식 (7), 식 (12), 식 (15)를 이용하여 각 표적의 방위각 이노베이션  $\{\delta\theta_n(k), n=1,2,\dots,N\}$ 을 계산한다.

**단계 4.** 칼만 필터를 이용하여 각 표적의 상태벡터의 추

정치  $\{ \hat{x}_n(k|k), n=1,2,\dots,N \}$ 을 계산하고, 이로부터 방위각 추정치  $\{ \hat{\theta}_n(k|k), n=1,2,\dots,N \}$ 을 구한다.

**단계 5.** 표적의 방위각  $\theta_n(k)$ 를 연속적으로 추적하기 위하여, 다음 표본시간에서 단계 2부터 순환적으로 반복 수행한다.

#### IV. 시뮬레이션

제안한 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 3개 표적의 방위각 궤적이 서로 교차하는 시나리오에서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서 사용한 배열센서의 개수는 12개이며, 그림 2는 본 시뮬레이션에서 사용하는 배열센서의 기하학적 구조를 보여주고 있다. 그림 2에서 × 표시는 센서가 설치된 명목상 위치(nominal position)이고, ○ 표시는 센서의 위치오차를 센서위치 보정기법<sup>[11-12]</sup>으로 보정한 실제위치(true position)이다. 보정한 배열센서의 형상은 선형 선배열센서가 아니고 임의형상을 가지고 있다.

시뮬레이션을 수행할 때, Ryu의 알고리즘은 임의형상을 가지는 배열센서에 적용할 수 없기 때문에 선형 선배열센서에 해당하는 배열센서의 명목상 센서위치를 사용하여야 한다. 한편, 제안한 알고리즘은 임의형상 배열센서에 적용할 수 있도록 제안되었으며, 임의형상 배열센서에 해당하는 보정된 센서위치를 사용할 수 있다.

그림 3은 신호대잡음비(SNR)가 0dB인 경우에 Ryu 알고리즘과 제안한 알고리즘이 서로 교차하는 3개의 방위각 궤적을 추적한 대표적인 결과이다. 그림 3에서 실선은 각 표적의 실제 방위각 궤적이며, 기호 \*, ○, +는 각 표적을 추적한 결과이다. 그림 3의 (a)는 Ryu의 알고리즘을 이용하여 추적한 결과이며, 그림 3의 (b)는 제

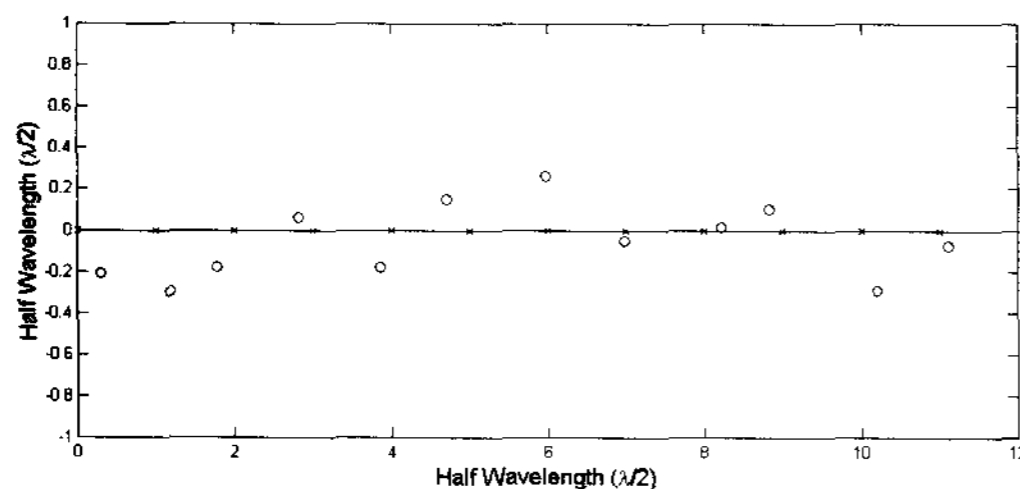
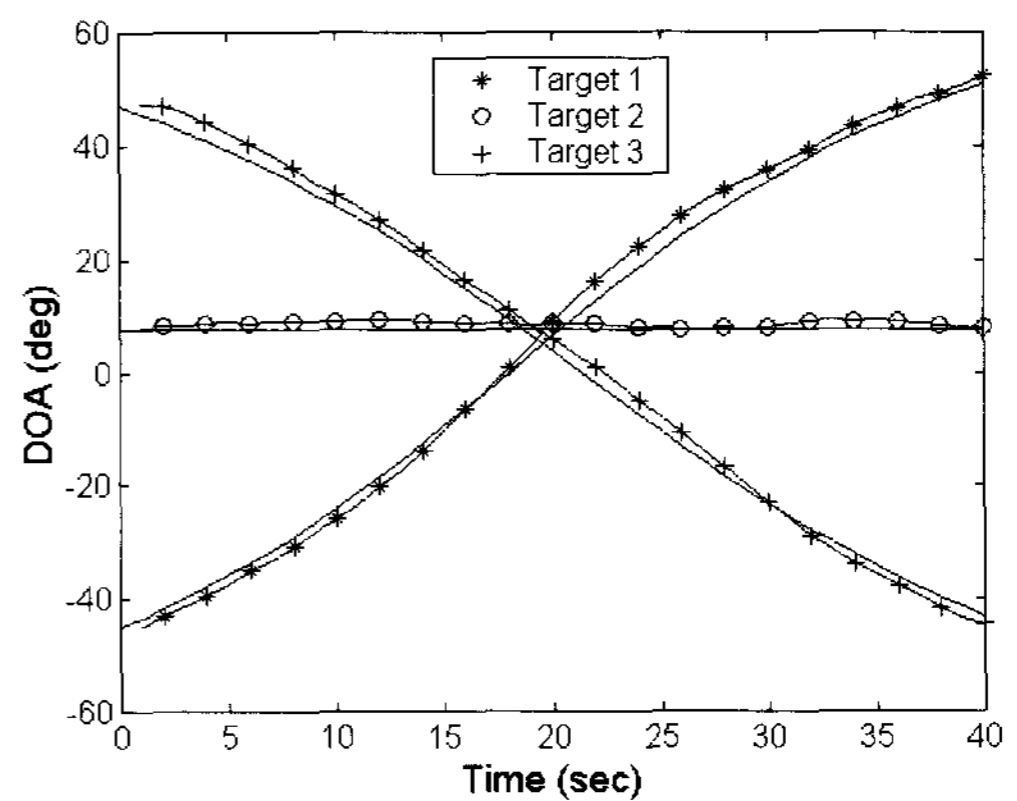


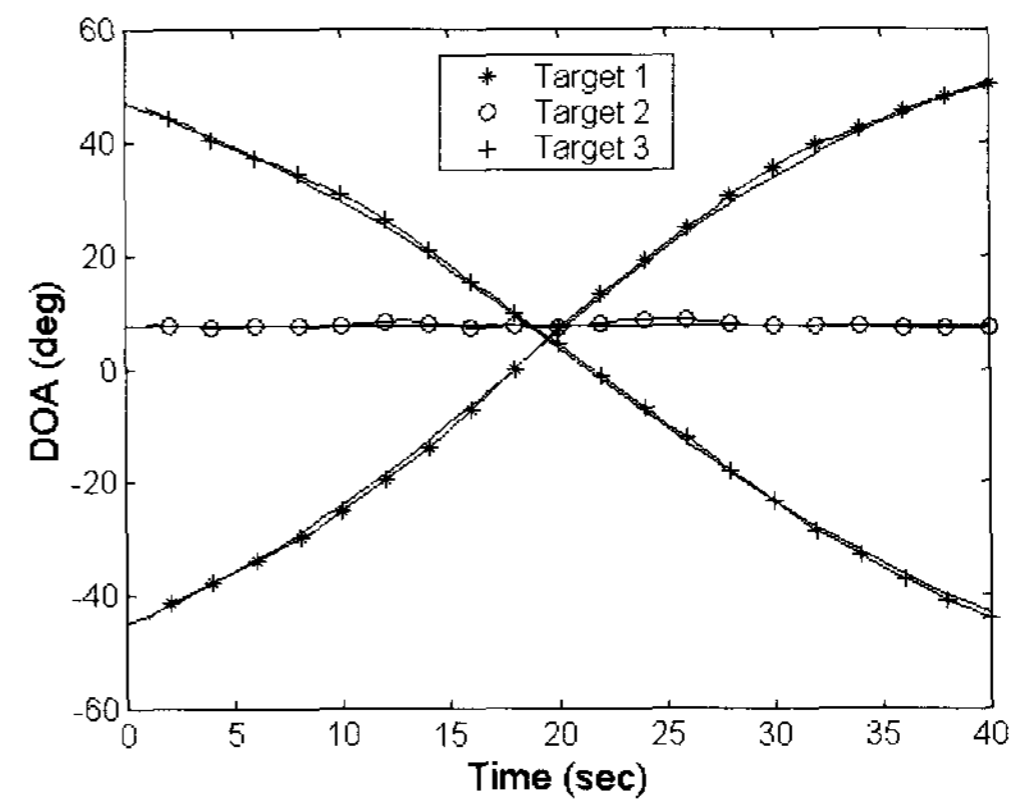
그림 2. 시뮬레이션을 위한 임의형상 배열센서의 기하학적 구조  
Fig. 2. Sensor geometry of arbitrarily shaped array for simulation.

안한 알고리즘을 이용하여 추적한 결과이다. 두 알고리즘의 추적의 결과로부터 제안한 알고리즘이 Ryu의 알고리즘보다 추적 성능이 우수함을 확인할 수 있다.

제안한 알고리즘의 추적 성능을 Ryu 알고리즘의 추적 성능과 정량적으로 비교 평가하기 위하여, 신호대잡음비가 0dB, 5dB, 10dB에서 두 알고리즘을 이용하여 100번의 몬테칼로 시뮬레이션을 수행하였다. 표 1은 두 알고리즘이 추적한 방위각 궤적과 실제 방위각 궤적의 평균제곱오차를 100번의 몬테칼로 시뮬레이션을 통하여



(a)



(b)

그림 3. 교차하는 방위각 궤적 추적 결과(SNR=0dB)  
(a) Ryu의 알고리즘 (b) 제안한 알고리즘

Fig. 3. Tracking results of the crossing targets. (SNR=0dB)

(a) Ryu's algorithm (b) Proposed algorithm.

표 1. 방위각 추적결과의 평균제곱오차(deg<sup>2</sup>)  
Table 1. RMSE of tracking result(deg<sup>2</sup>).

SNR	0dB	5dB	10dB
Ryu의 알고리즘	3.3389	1.6787	1.4466
제안한 알고리즘	0.7980	0.3104	0.1667

구한 값을 나타낸 것이다. 표 1에서 제안한 알고리즘의 평균제곱오차가 Ryu의 알고리즘의 평균제곱오차보다 0dB에서는 76%, 5dB에서는 82%, 10dB에서는 88% 각각 감소하였음을 확인할 수 있다.

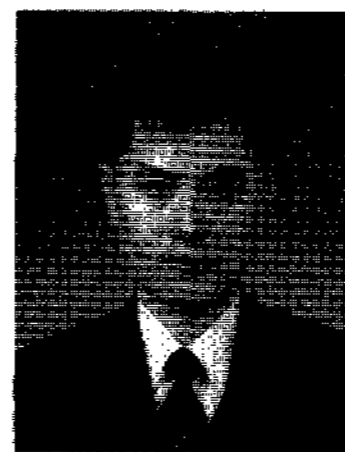
## V. 결 론

Ryu의 알고리즘은 별도의 데이터 연관 기법이 필요 없는 효율적인 알고리즘이지만, 선형 선배열센서의 위치오차를 보정한 임의형상 배열센서에 적용하는 경우 방위각 궤적의 추적오차가 커진다. 본 논문에서는 Ryu의 알고리즘과 동일한 구조를 가지고 있으면서, 임의형상 배열센서에 적용할 수 있는 새로운 방위각 추적 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 Ryu의 방위각 추적 알고리즘과 동일한 구조를 가지고 있기 때문에, Ryu의 알고리즘과 마찬가지로 별도의 데이터 연관 기법이 필요 없으며, 효율적인 알고리즘이다. 그리고 제안한 알고리즘은 Ryu의 알고리즘과는 달리 임의형상 배열센서에 적용할 수 있으며, 임의형상 배열센서를 이용하여 방위각 궤적을 추적하는 경우 추적결과의 평균 제곱오차가 0dB에서 76%, 5dB에서 82%, 10dB에서 88% 감소함을 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] Y. Bar-Shalom and T. E. Fortmann, *Tracking and Data Association*, Academic Press, 1988.
- [2] Don H. Johnson and dan E. Dudgeon, *Array Signal Processing Conception and Techniques*, Prentice-Hall, 1993.
- [3] Joseph C. Hassab, *Underwater Signal and Data Processing*, CRC, 1989.
- [4] R. Weber and J. A. Nossek, "Efficient DOA tracking for TDMA-based SDMA mobile communications," 1999 IEEE 49th Vehicular Technology Conference, vol. 3, pp. 2099-2103, July 1999.
- [5] K. C. Chang and Y. Bar-Shalom, "Joint probabilistic data association for multitarget tracking with possibly unresolved measurements and mannevers," *IEEE Transactions on Automatic control*, vol. AC-29, no. 7, pp. 585-594, July 1984.
- [6] R. O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-34, pp. no. 3, 276-280, Mar. 1986.
- [7] K. W. Lo and C. K. Li, "An Improved multiple target angle tracking algorithm," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. AES-28, no. 3, pp. 797-804, July. 1992.
- [8] Chang-Soo Ryu, Su-Hyoung Lee andKyun-Kyung Lee, "Multiple target angle tracking algorithm using angular innovations extracted from signal subspace," *Electronics Letters*, vol. 35, No. 18, pp. 1520-1522, Sep. 1999.
- [9] Chang-Soo Ryu, Jang-Sik Lee and Kyun-Kyung Lee, "Multiple target angle-tracking algorithm with efficient equation for angular innovation," *Electronics Letters*, vol. 38, No. 10, pp. 483-484, May. 2002.
- [10] Bin Yang, "Projection approximation subspace tracking," *IEEE Transactions on Signal processing*, vol. 43, no. 1, pp. 95-107, Jan. 1995.
- [11] Boon Chong Ng and Chong-Meng Samson See, "Sensor-array calibration using a maximum-likelihood approach," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 44, no. 6, pp. 827-835, June 1996.
- [12] Chong-Meng Samson See and Boon-Kiat Poh, "Parametric sensor array calibration using measured steering vectors of uncertain locations," *IEEE Transactions on Signal processing*, vol. 47, no. 4, pp. 1133-1137, April 1999.

## 저 자 소 개



류 창 수(정회원)

1992년 경북대학교 전자공학과  
학사 졸업.

1994년 경북대학교 전자공학과  
석사 졸업.

2002년 경북대학교 전자공학과  
박사 졸업.

1994년 3월~1997년 12월 국방과학연구소 연구원

2002년 3월~현 재 영남이공대학 전자정보계열  
조교수

<주관심분야 : 배열신호처리, 이동통신, 표적추적  
및 추정>