

# 협대역 다중표적의 효과적인 3차원 위치추정 알고리즘

## An Efficient Algorithm for Localizing 3D Narrowband Multiple Sources

이 철 목\*, 이 종 환\*\*, 윤 경 식\*\*\*, 이 균 경\*

(Chul Mok Lee\*, Jong Hwan Lee\*\*, Kyung Sik Yun\*\*\*, Kyun Kyung Lee\*)

\* 본 연구는 세종음향특화센터의 연구 지원에 의하여 수행되었음

### 요 약

본 논문에서는 다중 3차원 근거리표적의 위치를 효과적으로 추정하는 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 세 개의 부분 센서배열을 이용하여 기존의 3D MUSIC에서의 3차원 탐색을 3번의 1차원 탐색으로 대체함으로써 연산량을 감소시켰다. 각각의 부분센서배열에서 얻은 센서신호로부터 표적이 원거리에 있다고 가정하고 원거리 입체각을 추정하면 추정된 입체각은 실제 근거리 표적의 위치인 방위각, 고각, 거리의 함수로 주어진다. 그러므로 세 개의 부분센서배열로부터 얻은 세 개의 함수를 연립하여 풀면 실제 근거리표적의 위치를 추정할 수 있다. 또한 다중 표적의 경우, 추정치에 대하여 3차원 MUSIC 스펙트럼값을 비교함으로써 연관 문제를 해결하였다.

### ABSTRACT

In this paper, we are proposing an efficient 3D source localization algorithm using 3 uniform linear subarrays. The proposed algorithm replaces 3D search required in conventional 3D MUSIC algorithm with 3 1D searches, and thus reduces computational burden. The estimate of the 1D conic angle obtained from a subarray under the far-field assumption satisfies a nonlinear algebraic equation of the true source bearing angle, elevation angle, and range. The proposed algorithm estimates source location by solving 3 algebraic equations obtained from 3 subarrays. Comparing 3D MUSIC spectrums of the estimated source locations, the proposed algorithm solves pairing problem for multiple sources localization.

### I. 서 론

표적의 위치추정은 3차원의 공간상에서의 표적의 위치 좌표(방위각, 고각, 거리)를 추정하는 것으로서 센서배열을 이용한 다중표적의 수동형 위치추정은 소나, 레이더, 음성신호처리, 통신 등의 많은 분야에서 매우 중요한 문제이다. 현재까지의 표적의 위치추정에 대한 연구는 표적이 센서배열에 대하여 원거리에 위치한 경우의 1차원 또는 2차원 입사각(방위각, 고각) 추정기법이 대부분이다[1-3]. 원거리표적의 경우 센서에 도달한 표적신호는 평면파로 가정하게 되고 따라서 센서신호로는 입사각 정보만 나타낸다. 반면 근거리 표적의 신호는 센서배열에 대하여 파면이 구면파로서 도달하게 되므로 입사각과 거리가 동시에 추정되어야 한다.

2차원 근거리표적의 대표적인 위치추정기법으로서 2차원 MUSIC을 들 수 있다[4]. 2차원 MUSIC은 방위각과 거리에

대한 2차원 MUSIC 스펙트럼의 첨두치를 탐색하는 기법으로 2차원 탐색에 따르는 연산량이 큰 단점이 있다. Weiss 등은 2차원 MUSIC 다항식의 근을 탐색함으로써 표적의 위치를 추정하였다[5]. 이 기법은 2차원 MUSIC 기법에 비하여 연산량을 어느 정도는 줄일 수 있었으나 여전히 많은 연산을 필요로 하고 또한 다중표적의 경우 연관(pairing) 문제를 해결하지 못하였다. Storer 등[6]과 Lee 등[7,8]은 2차원 다항식을 이용하여 2차원 MUSIC 스펙트럼의 첨두치까지의 경로를 설정하여 2차원 MUSIC 스펙트럼의 첨두치를 탐색하는 경로추종 기법을 제안하였다. 또한 Lee 등은 두 개의 부분센서배열을 이용한 비선형 삼각도법을 제안하였다[9]. 이 기법은 기존의 2차원 탐색을 두 번의 1차원 탐색으로 해결함으로써 연산량을 감소시킬 수 있었다.

최근 들어서 많은 사람들이 3차원 근거리표적의 위치 추정 기법에 관하여 관심을 보이고 있지만 아직 그 연구는 초기적인 상황이다. Hung 등[10]은 Weiss 등이 제안한 기법을 3차원으로 확장한 기법을 제안하였으나 Weiss 등의 기법이 가지는 단점을 극복하지 못하였다. Challa 등은 Cumulant 신호처리와 ESPRIT를 이용한 3차원 근거리

\* 경북대학교 대학원 전자공학과

\*\* 대우통신(주)

\*\*\* 김천대학

접수일자: 1999년 8월 25일

표적의 위치추정기법을 제안하였다[11]. 이 기법에서는 다중표적에 대한 연관 문제는 해결하였지만 Cumulant 신호처리와 가상센서배열을 사용함으로써 많은 연산량이 요구되고 또한 비가우시안 표적신호에 대해서만 적용가능하다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 다중 3차원 근거리표적의 위치를 효과적으로 추정하는 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 Lee 등이 제안한 비선형 삼각도법을 3차원으로 확장하여 세 개의 부분센서배열을 이용하여 3차원 탐색을 3번의 1차원 탐색으로 대체함으로써 연산량을 획기적으로 감소시킬 수 있었다. 각각의 부분센서배열에서 얻은 센서신호로부터 표적이 원거리에 있다고 가정하고 원거리 입체각을 추정하면 추정된 입체각은 실제 근거리 표적의 위치인 방위각, 고각, 거리의 함수로 주어진다[7,8]. 이렇게 구한 세 개의 함수를 연립하여 풀면 실제 근거리표적의 위치를 추정할 수 있다. 또한 제안한 기법에서는 간단한 구조의 연관 기법을 이용하여 다중표적의 경우에도 적용할 수 있도록 하였다.

2장에서는 3차원 근거리표적과 센서배열에 대하여 문제를 설정하고 3차원 근거리표적의 원거리 입체각에 대하여 설명하였다. 3장에서는 제안한 효과적인 근거리표적의 위치 추정기법을 유도하고 4장에서 제안한 기법의 성능 평가를 위한 모의실험을 수행하고 결과를 나타내었다.

II. 문제설정

2.1. 3차원 MUSIC

그림 1은 표적과 센서배열의 구조이다. 센서배열은 길이가  $D$ 인 3개의 부분센서배열로 구성되어있다. 각각의 부분센서배열은  $m$ 개의 동일한 전방향성 센서로 이루어진 등간격 선배열센서이며 인접한 센서 사이의 거리는  $d$ 이다. 표적은 센서배열의 중앙에 위치한 0번 센서(기준센서)로부터 거리  $R$ , 방위각  $\phi$ , 고각  $\theta$ 에 위치하고 있다.

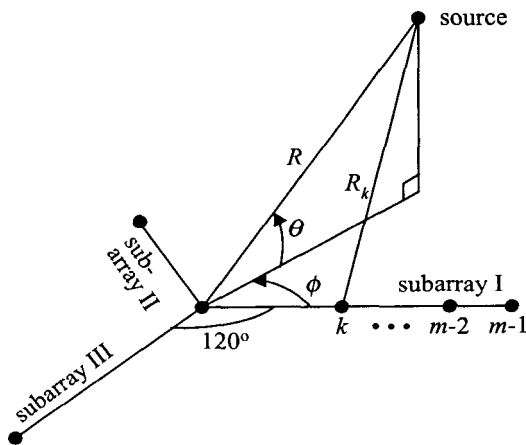


그림 1. 센서배열과 표적의 기하학적인 구조  
Fig. 1. Geometry of a source and a sensor array.

3차원 MUSIC 스펙트럼은 다음의 식으로 표현된다.

$$P(\phi, \theta, R) = \frac{1}{a^H(\phi, \theta, R) E_N E_N^H a(\phi, \theta, R)} \quad (1)$$

여기서 위첨자  $H$ 는 복소 공액 전치를 의미하며  $E_N$ 은 센서출력 공분산행렬의 잡음 부분공간을 의미한다.  $a(\phi, \theta, R)$ 는 조종벡터로서  $k$ 번째 요소는 다음의 식과 같다.

$$a^{(k)}(\phi, \theta, R) = \exp\{-i\omega\tau_k(\phi, \theta, R)\} \quad (2)$$

여기서  $\omega$ 는 표적신호의 전송 주파수이며  $\tau_k(\phi, \theta, R)$ 는 센서출력의  $k$ 번째 센서와 기준센서 사이의 시간지연항으로서 다음의 식과 같이 정의된다.

$$\tau_k(\phi, \theta, R) = \frac{1}{c_0}(R - R_k) \quad (3)$$

여기서  $c_0$ 는 표적신호의 전송속도이며  $R_k$ 는  $k$ 번째 센서와 표적간의 거리이다.

3차원 MUSIC 알고리즘은 식 (1)을 최대화하는  $(\hat{\phi}, \hat{\theta}, \hat{R})$ 을 찾기 위하여 먼저  $(R, \phi, \theta)$ 에 대한 3차원 격자탐색을 수행한 후 격자탐색의 결과를 초기치로 이용하여 국부탐색을 수행한다. 격자탐색은 다중표적에 대한 분리추정을 가능하게 하기 위한 것으로서, 격자의 간격을 넓게 하면 격자탐색에 따르는 연산량은 줄어들게 되지만 근접한 표적들을 한 개의 표적으로 오인 할 수 있으며, 반대로 격자의 수가 많으면 다중표적에 대한 분리추정은 가능하게 되지만 연산량이 많이 늘어나게 된다.

나. 근거리 표적의 원거리 입체각 추정

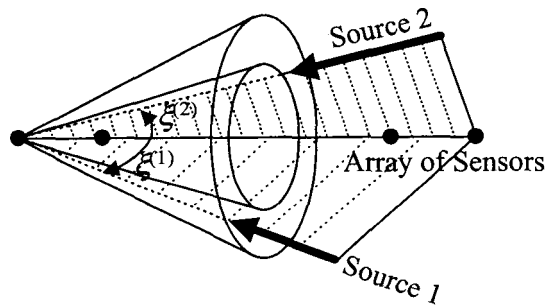


그림 2. 원거리 입체각  
Fig. 2. Far-field conic angle.

그림 2는 한 개의 부분센서배열에서 3차원 공간상에서 원거리 표적의 입체각을 추정하는 상황을 나타낸 것이다. 3차원 공간상에서는 그림에서와 같이 고뿔형태의 각을 추정하게되고 따라서 고뿔의 옆면상의 모든 점들은 같은

입체각을 가지게 된다. 이러한 원거리 입체각의 추정은 일반적인 1차원 MUSIC 기법을 사용함으로써 추정할 수 있어서 센서배열과 표적이 이루는 2차원 평면상의 1차원 방위각 추정문제로 차원이 축소된다.

그림 1의 부분센서배열 I의 경우 실제로 근거리에 위치한 표적을 원거리에 있다고 가정하면 인접한 센서사이의 시간지연은  $d/c_0 \cos \bar{\xi}$ 로 모든 센서에 대하여 동일하다. 이때 표적의 원거리 입체각 추정치  $\hat{\xi}_1$ 은 다음 식으로 표현되는 1차원 MUSIC 스펙트럼을 최대화하는  $\xi_1$ 으로부터 얻을 수 있다.

$$\hat{\xi}_1 = \text{Max}_{\xi_1} \frac{1}{a_1^H(\xi_1) E_M E_M^H a_1(\xi_1)} \quad (4)$$

여기서  $E_M$ 은 부분센서배열 I의 센서출력 공분산행렬의 잡음부분공간을 의미하며  $a_1(\xi_1)$ 의  $k$ 번째 요소는 다음 식과 같이 정의된다.

$$a_1^{(k)}(\xi_1) = \exp\left\{-i\omega k \frac{d}{c_0} \cos \xi_1\right\} \quad (5)$$

부분센서배열 II와 III에 대해서도 유사한 방법으로 표적의 원거리 입체각  $\hat{\xi}_2$ 와  $\hat{\xi}_3$ 을 추정할 수 있다.

### III. 제안한 알고리즘

원거리 표적의 경우와는 달리 근거리 표적의 경우는 인접센서 사이의 시간지연이 균일하지 않다. 따라서 식 (4)와 같이 추정된 원거리 입체각은 식 (6)과 같이 실제 인접한 센서사이의 출력신호의 시간지연인  $(r_k(\phi, \theta, R) - r_{k-1}(\phi, \theta, R))$ 과 원거리로 가정했을 때의 시간지연인  $d/c_0 \cos \bar{\xi}$ 의 제곱오차의 합을 최소로 만드는 해로 볼 수 있다[7].

$$\hat{\xi}_1 = \min_{\bar{\xi}} \sum_{k=1}^m \left[ \frac{d}{c_0} \cos \bar{\xi} - (r_k(\phi, \theta, R) - r_{k-1}(\phi, \theta, R)) \right]^2 \quad (6)$$

식 (6)을 만족시키는  $\hat{\xi}_1$ 은 최소제곱오차법으로부터 다음 식을 만족시키게 된다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{c_0} \cos \hat{\xi}_1 &= \frac{r_{m-1}(\phi, \theta, R) - r_0(\phi, \theta, R)}{m-1} \\ &= \frac{R - R_{m-1}}{c_0(m-1)} \end{aligned} \quad (7)$$

$$D \cos \hat{\xi}_1 = R - R_{m-1} \quad (8)$$

여기서  $R_{m-1}$ 는 부분센서배열 I의 마지막 센서로부터

표적까지의 거리이며 다음 식으로 나타난다.

$$R_{m-1} = \sqrt{D^2 + R^2 - 2RD \cos \phi \cos \theta} \quad (9)$$

식 (9)를 식 (8)에 대입하여 정리하면 다음과 같은 원거리 입체각 추정치와 실제 근거리 표적의 위치와의 관계식이 얻어진다.

$$\cos \theta \cos \phi = \cos \hat{\xi}_1 + \frac{1}{2}(1 - \cos^2 \hat{\xi}_1) \frac{D}{R} \quad (10)$$

마찬가지 방법으로 부분센서배열 II와 III에 대해서도 위와 같은 관계식을 구해보면 각각 식 (11)과 (12)와 같이 나타난다.

$$\cos \theta \cos(\phi - 120^\circ) = \cos \hat{\xi}_2 + \frac{1}{2}(1 - \cos^2 \hat{\xi}_2) \frac{D}{R} \quad (11)$$

$$\cos \theta \cos(\phi + 120^\circ) = \cos \hat{\xi}_3 + \frac{1}{2}(1 - \cos^2 \hat{\xi}_3) \frac{D}{R} \quad (12)$$

식 (10), (11), (12)를 행렬로 표현하면 식 (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$A \begin{bmatrix} D/R \\ \cos \theta \cos \phi \\ \cos \theta \sin \phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \hat{\xi}_1 \\ \cos \hat{\xi}_2 \\ \cos \hat{\xi}_3 \end{bmatrix} = y \quad (13)$$

$$\text{여기서 } A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(1 - \cos^2 \hat{\xi}_1) & 1 & 0 \\ -\frac{1}{2}(1 - \cos^2 \hat{\xi}_2) & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2}(1 - \cos^2 \hat{\xi}_3) & -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \text{이다.}$$

식 (13)을  $R, \theta, \phi$ 에 대하여 풀면 다음의 식과 같이 표적의 위치를 추정할 수 있다.

$$R = D/\alpha \quad (14-1)$$

$$\cos \theta = \sqrt{\beta^2 + \gamma^2} \quad (14-2)$$

$$\cos \phi = \beta / \cos \theta \quad (14-3)$$

여기서  $\alpha, \beta, \gamma$ 는 각각 다음의 식으로 표현된다.

$$\alpha = -2 \frac{\cos \hat{\xi}_1 + \cos \hat{\xi}_2 + \cos \hat{\xi}_3}{\sin^2 \hat{\xi}_1 + \sin^2 \hat{\xi}_2 + \sin^2 \hat{\xi}_3} \quad (15)$$

$$\beta = \frac{\cos \hat{\xi}_1 \sin^2 \hat{\xi}_2 + \cos \hat{\xi}_1 \sin^2 \hat{\xi}_3 - \cos \hat{\xi}_2 \sin^2 \hat{\xi}_1 - \cos \hat{\xi}_3 \sin^2 \hat{\xi}_1}{\sin^2 \hat{\xi}_1 + \sin^2 \hat{\xi}_2 + \sin^2 \hat{\xi}_3} \quad (16)$$

$$\gamma = \frac{\cos \hat{\xi}_1 \sin^2 \hat{\xi}_2 - \cos \hat{\xi}_1 \sin^2 \hat{\xi}_3 - \cos \hat{\xi}_2 \sin^2 \hat{\xi}_1}{-2 \cos \hat{\xi}_2 \sin^2 \hat{\xi}_3 + \cos \hat{\xi}_3 \sin^2 \hat{\xi}_1 + 2 \cos \hat{\xi}_3 \sin^2 \hat{\xi}_2} \frac{1}{\sqrt{3}(\sin^2 \hat{\xi}_1 + \sin^2 \hat{\xi}_2 + \sin^2 \hat{\xi}_3)} \quad (17)$$

- 제안한 3차원 위치추정 기법은 다음과 같이 요약된다.
- Step 1 초기화 :** 세 개의 부분센서배열에서 식 (4)를 이용하여 원거리 입체각  $\hat{\xi}_1, \hat{\xi}_2, \hat{\xi}_3$ 를 추정한다.
- Step 2 관계식 유도 :** Step 1에서 얻어진 원거리 입체각과 식 (10), (11), (12)를 이용하여 근거리 표적의 위치와 원거리 입체각의 관계식을 유도한다.
- Step 3 위치추정 :** 식 (14)를 이용하여 표적의 위치  $(R, \phi, \theta)$ 를 계산한다.
- Step 4 국부탐색 :** Step 3에서 추정한 위치를 일반적인 최적화기법의 초기치로 사용하여 국부탐색을 수행한다.

제안한 기법은 3차원 MUSIC과는 달리 격자탐색이 필요 없고 식 (10), (11), (12)의 해를 구하여 표적의 위치를 추정한다. 식 (14)만으로 추정한 표적의 위치가 실제 위치와 매우 근접하여 Step 3에서 추정한 위치를 제안한 기법에서의 표적의 위치 추정치로 사용할 수 있으며, 보다 정밀한 해를 얻기 위하여 Step 4의 국부탐색을 수행하면 3차원 MUSIC과 동일한 해를 얻을 수 있다. 제안한 기법에 국부탐색을 수행할 경우 Step 3에서 추정한 추정치가 실제 표적의 위치에 매우 근접하므로 적은 연산량 만으로 국부탐색을 수행할 수 있다.

다중 표적의 경우 각각의 부분센서배열에서 추정한 방위각들과 실제 표적을 연관시키는 과정이 필요하다. 제안한 기법에서는 세 개의 부분센서배열에서 추정한 모든 원거리 입체각의 조합에 대하여 식 (14)를 이용하여 표적의 위치를 추정한 후, 이들 근거리 위치추정치에서의 3차원 MUSIC 스펙트럼 값을 계산한다. 이러한 3차원 MUSIC 스펙트럼을 비교하여 표적 개수 만큼의 가장 큰 스펙트럼을 가지는 위치추정치의 조합을 다중 표적의 위치추정치로 선택한다. 예를 들어 표적의 개수가 2인 경우 가능한 위치추정치의 조합은  $2^3=8$ 이 된다. 이들을 이용한 8개의 3차원 MUSIC 스펙트럼 중 가장 큰 스펙트럼 값을 가지는 2개를 다중 표적의 최종 위치추정치로 사용한다.

제안한 알고리즘은 각각의 부분센서배열에서 표적의 원거리 입체각을 추정하기 위한 3번의 1차원 탐색만을 필요로 하므로 3차원 탐색이 필요한 기존의 3차원 MUSIC보다 연산량이 현저히 줄어든다. 또한 간단한 구조로 원거리 입체각 연관 문제를 해결 할 수 있다.

#### IV. 모의실험

제안한 알고리즘의 성능을 알아보기 위하여 모의실험을 수행하였다. 그림 1에 나타난 바와 같이 세 개의 부분센서배열은 각각 표적신호 파장의 1/2의 등간격으로 배열된 7개의 센서로 이루어 졌으며 중앙의 0번 센서를 기준

센서로하여 표적의 방위각을 추정하였다. 즉 전체센서배열의 센서 개수는 19개이다. 표적신호는 협대역 복소 가우시안 확률변수로 구성하였다. 센서잡음은 센서간에 상호 독립인 복소 가우시안 확률변수로 하였고 256표본을 만들어 표본 센서출력 공분산 행렬을 구성하였다.

먼저 신호 대 잡음비에 따른 표적의 위치 추정성능을 분석하기 위하여 신호 대 잡음비를 0dB에서 10dB까지 변화시키면서 3차원 MUSIC과 제안한 기법의 방위각과 고각의 추정오차를 분석하였다. 표적은 부분센서길이의 5배 되는 거리에 방위각과 고각이 각각  $45^\circ$ 가 되는 곳에 위치시켰으며 500번의 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 3, 4, 5는 각각 거리, 방위각, 고각에 대한 모의실험 결과이다. 그림에서 가로축은 신호 대 잡음비를, 세로축은 추정치의 제곱근 평균 제곱 오차(root mean square error : RMSE)를 각각 나타내었으며 밀집세선은 3차원 MUSIC, 실선은 제안한 기법의 제곱근 평균 제곱 오차이다. 3차원 MUSIC의 경우는  $(R, \phi, \theta)$ 에 대하여 격자탐색을 하여 초기치를 설정한 후 이 초기치로부터 Quasi-Newton 최적화 기법을 적용하여 국부탐색을 실행한 결과이다. 반면 제안한 기법은 국부탐색을 수행할 경우 3차원 MUSIC과 동일한 해를 얻게 되므로 국부탐색을 수행하지 않고 식 (14)만을 이용한 결과이다. 그림 3, 4, 5로부터 알 수 있듯이 제안한 기법의 오차는 3차원 MUSIC에 비하여 약 1.5배 정도로 연산량의 획기적인 감소를 고려하면 만족할 만한 결과라고 판단한다.

위의 모의실험과 같은 상황에서 3차원 MUSIC과 제안한 기법의 격자 탐색에 따르는 연산량 비교를 위하여 격자가 조밀한 경우와 넓은 경우에 대하여 부동소수점 연산량을 계산하였고 결과를 표 1에 나타내었다. 3차원 MUSIC의 격자설정은 CASE I의 경우 거리에 대한 격자를  $2D$ 에서  $12D$ 까지  $0.5D$ 간격으로 21개, 방위각에 대한 격자를  $0^\circ$ 에서  $180^\circ$ 까지 cosine 값이  $0.1$ 간격으로 21개, 고각에 대한 격자를  $0^\circ$ 에서  $90^\circ$ 까지 cosine 값이  $0.1$ 간격으로 11개로 하였으며, CASE II의 경우에는 거리에 대하여 41개, 방위각에 대하여 41개, 고각에 대하여 21개의 균일한 격자를 나누었다. 제안한 기법에 대한 격자설정은 CASE I과 CASE II에 대하여 각각 원거리 방위각이  $0^\circ$ 에서  $180^\circ$ 까지 cosine 값을  $0.1$ 과  $0.05$ 간격으로 격자수를 21개와 41개로 나누었다. 표 1에 나타난 바와 같이 제안한 기법과 3차원 MUSIC의 연산량은 격자수가 늘어남에 따라 현격한 차이를 보인다. 즉 3차원 MUSIC은 3차원 격자탐색을 수행해야 하므로 격자의 개수가 늘어남에 따라 연산량이 급격히 증가하지만, 제안한 기법은 원거리 방위각에 대한 1차원 격자탐색과 단순한 관계식의 해를 구하므로 격자의 개수가 증가하더라도 전체적인 연산량은 적은 증가를 보였다. 만일 3차원 MUSIC이 그림 3, 4, 5의 모의실험에 나타난 제안한 기법의 제곱근 평균 제곱오차 만큼 정밀한 초기치를 얻기 위해서는 CASE II보다 훨씬 조밀한 격자를 나누어야 하며 따라서 제안한 기법에 비하면 비교할 수 없을 만큼의 연산량을 필요로 하게 된다.

표 1. 3차원 MUSIC과 제안한 기법의 격자수에 따른 연산량 비교

Table 1. Number of floating point operations for grid search.

	CASE I	CASE II
3차원 MUSIC	17,698,895	128,797,153
제안한 기법	573,876	621,285

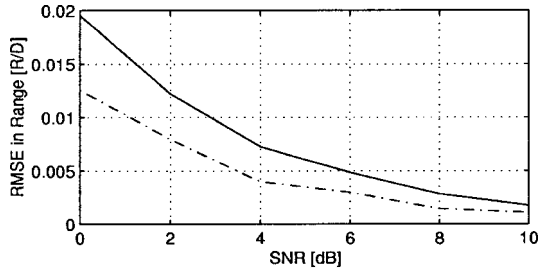


그림 3. 거리 추정 제공된 평균 제곱 오차  
Fig. 3. RMSE in range estimate.

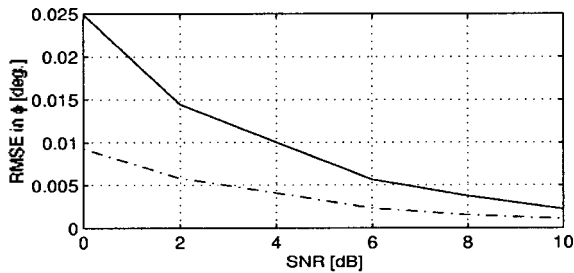


그림 4. 방위각 추정 제공된 평균 제곱 오차  
Fig. 4. RMSE in bearing estimate.

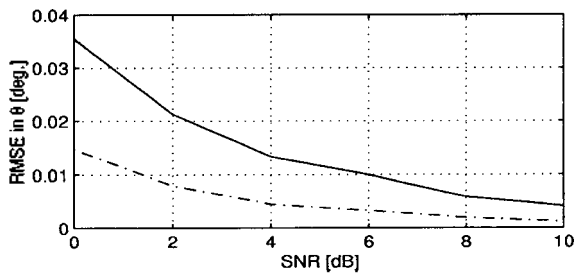


그림 5. 고각 추정 제공된 평균 제곱 오차  
Fig. 5. RMSE in elevation estimate.

다중표적에 대한 제안한 알고리즘의 위치추정 성능을 알아보기 위하여 모의실험을 수행하였고 그 결과를 그림 6과 7에 나타내었다. 그림 6과 7은 모두 신호 대 잡음비가 0dB이고 50번의 독립적인 실험을 한 결과이다. 먼저 세 개의 표적 가운데 두 개의 표적이 동일한 고각과 거리에 위치하는 경우에 대해서 모의실험을 수행하였다. 세 개의 표적을 각각  $(r, \phi, \theta) = (5D, 60^\circ, 60^\circ)$ ,  $(5D, 120^\circ, 60^\circ)$ ,  $(4D, 30^\circ, 30^\circ)$ 에 위치시켰고 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림에서 점으로 표시된 곳이 추정된 표적의

위치이며 \*\*표시가 실제의 표적의 위치이다. 또한 그림 7에는 두 개의 표적이 동일한 방위각과 거리에 위치하는 경우, 즉 세 개의 표적이 각각  $(r, \phi, \theta) = (5D, 30^\circ, 60^\circ)$ ,  $(5D, 30^\circ, 30^\circ)$ ,  $(3D, 120^\circ, 45^\circ)$ 에 위치하는 경우이다. 그림으로부터 제안한 알고리즘은 다중표적의 위치 추정시 발생하는 추정치 연관 문제를 해결했음을 알 수 있다.

다중표적의 위치추정시 추정의 정확성에 대하여 알아보기 위하여 그림 6의 모의실험에서 세 개의 표적에 연관된 추정치의 거리, 방위각, 고각의 평균치를 계산해 보았다. 그림 6의 모의실험의 경우 거리의 평균치는 각각  $4.9755 D$ ,  $4.9813 D$ ,  $4.0114 D$ 로 나타났고 방위각의 평균치는 각각  $59.9663^\circ$ ,  $119.6867^\circ$ ,  $29.9379^\circ$ 이며 고각은  $59.9767^\circ$ ,  $59.9009^\circ$ ,  $29.9724^\circ$ 로 나타났다.

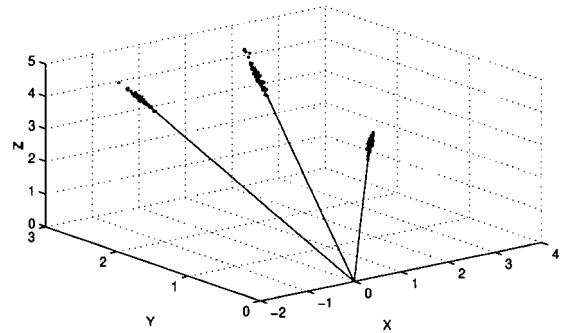


그림 6. 다중표적의 3차원 위치추정 (SNR=0dB)  
Fig. 6. 3D localization of multiple sources(SNR=0dB).

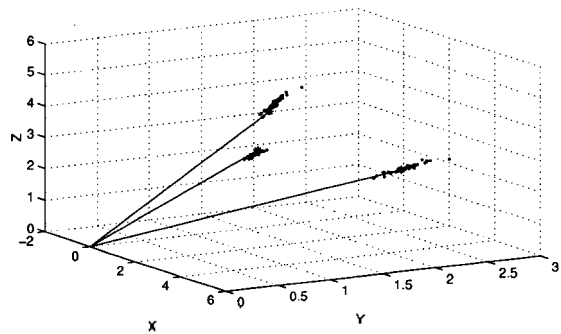


그림 7. 다중표적의 3차원 위치추정 (SNR=0dB)  
Fig. 7. 3D localization of multiple sources(SNR=0dB).

## V. 결론

제안한 3차원 다중표적의 위치추정 기법은 원거리 입체각과 실제 근거리 표적의 위치와의 관계식을 이용함으로써 근거리표적의 위치를 추정한다. 기존의 3차원 MUSIC에서는  $R, \phi, \theta$ 에 대하여 3차원 탐색을 해야하는 반면 제안한 기법은 원거리 입체각  $\xi$ 에 대한 3번의 1차원 탐색을 통하여 표적의 위치를 추정하므로 연산량을 감소시켰으며 이를 모의실험을 통하여 입증하였다. 또한 다중표적

의 경우, 가능한 모든 원거리 입체가 조합에 대한 3차원 MUSIC 스펙트럼 값을 비교함으로써 간단한 구조로서 연관 문제를 해결하였다. 따라서 제한한 알고리즘은 3차원 근거리표적의 위치추정에 효과적으로 사용할 수 있다.

### 참고 문헌

1. R. O. Schmidt, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation," *IEEE Trans. Ant. and Propa.*, vol. 34, no. 3, pp. 276-280, March 1986.
2. R. Roy and T. Kailath, "ESPRIT-Estimation of signal Parameters by Rotational Invariance Techniques," *IEEE Trans. Acoust. Speech Sig. Processing*, vol. 37, no. 3, pp. 984-995, July 1989.
3. M. D. Zoltowski, M. Haardt, and C. P. Mathews, "Closed-form 2-D Angle Estimation with Rectangular Arrays in Element Space or BeamSpace via Unitary ESPRIT," *IEEE Trans. Sig. Processing*, vol. 44, no. 3, pp. 316-328, Feb. 1996.
4. Y. D. Huang and M. Barkat, "Near-Field Multiple Source Localization by Passive Sensor Array," *IEEE Trans. on Ant. and Propa.*, vol. 39, no. 7, pp. 968-975, July 1991.
5. A. J. Weiss and B. Fridlander, "Range and Bearing Estimation Using Polynomial Rooting," *IEEE Jour. of Oceanic Eng.*, vol. 18, no. 2, pp. 130-137, April 1993.
6. D. Storer and A. Nehorai, "Passive Localization of Near-Field Sources by Path Following," *IEEE Trans. Sig. Processing*, vol. 42, no. 3, pp. 677-680, March 1994.
7. 이종환, 이균경, "대수적 경로 추종에 의한 근거리 표적의 수동형 위치추정," *한국음향학회지*, 제17권 제4호, pp. 54-59, 1998.
8. Jong-Hwan Lee, Chul-Mok Lee, and Kyun-Kyung Lee, "A Modified Path-Following Algorithm Using a Known Algebraic Path," *IEEE Trans. Sig. Processing*, vol. 47, no. 5, pp. 1407-1409, May 1999.
9. J. H. Lee, C. M. Lee, and K. K. Lee, "Nonlinear triangulation ranging of near-field sources," *Electronics Letters*, vol. 34, no. 23, pp. 2207-2208, Nov. 1998
10. H. S. Hung, S. H. Chang, and C. H. Wu, "3-D MUSIC with Polynomial Rooting for Near-Field Source Localization," *ICASSP 1996*, pp. 3065-3068, 1996.
11. R. N. Challa and S. Shamsunder, "Passive near-field localization of multiple non-Gaussian sources in 3-D using cumulants," *Signal Processing*, vol. 65, pp. 39-53, 1998.

#### ▲이철목(Chul Mok Lee)

1995년 2월: 경북대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)  
1997년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)  
현재: 경북대학교 대학원 전자공학과 (박사과정)  
※주관심분야: 수중음향신호처리, 표적위치추정

#### ▲윤경식(Kyung Sik Yun)

1987년 2월: 경북대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)  
1989년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)  
1998년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 (박사수료)  
현재: 김천대학 전자통신과 교수  
※주관심분야: 수중음향신호처리, 소음, 통신기술

#### ▲이종환(Jong Hwan Lee)

현재: 대우통신(주) 연구원  
한국음향학회지 제17권 4호 참조

#### ▲이균경(Kyun Kyung Lee)

현재: 경북대학교 전자전기공학부 교수  
한국음향학회지 제17권 4호 참조