대수적 경로 추종에 의한 근거리 표적의 수동형 위치 추정

Passive Localization of Near-Field Sources by Algebraic Path Following

이 종 환*, 이 균 경**
(Jong Hwan Lee*, Kyun Kyung Lee**)

요 약

이 논문에서는 등간격 선배열 감지기를 사용하여 근거리 표적의 위치 추정을 하는 연산량이 적은 효과적인 대수적 경로 추종 알고리듬을 제안하였다. 원거리 표적의 방위각 추정 알고리듬으로 근거리 표적의 방위각을 추정하면 추정된 방위각은 실제 근거리 표적의 방위각과 거리의 대수적 관계식으로 주어짐을 보였다. 2차원 MUSIC스펙트럼의 극대값을 찾기 위하여 두 개의 결합된 2차원 다항식으로부터 구한 경로를 추종하는 기존의 방식대신에 이 대수적 관계식을 경로로 사용한다. L개의 감지기에 M개의 표적 신호가 도달하는 경우, 제안한 알고리듬은 대수적 경로를 따라 M번의 1차원 탐색을 하므로 2차원 다항식으로부터 경로를 구하여 $2L-2$번의 1차원 탐색을 하는 기존의 경로 추종 알고리듬보다 연산량을 줄일 수 있다.

ABSTRACT

A new computationally efficient path following algorithm for the near-field target localization using a uniform linear sensor array is presented. It is shown that there exists an algebraic relation between the bearing of a source under the far field assumption and the actual near field bearing and range. This algebraic relation is used as a path to follow to the peak of the 2-D MUSIC spectrum instead of the usual path found by solving a set of two coupled 2-D polynomial equations. As a result, for an array having L sensors with M targets, the algorithm reduces $2L-2$ independent 1-D searches following the usual path obtained by solving 2-D polynomial equations to M independent 1-D searches following the known algebraic path.

Ⅰ. 서 론

수동형 선배열 소나 시스템에서 표적의 위치 추정은 매우 중요한 문제이다. 표적의 위치는 원통좌표계에서 선배열 감지기와 표적과의 거리와 방위각으로 나타낼 수 있다. 표적은 선배열 감지기와 표적과의 거리에 따라서 원거리 표적과 근거리 표적으로 나누어진다.[1] 감지기와 표적과의 거리에 따라서 감지기에 도달하는 표적신호의 곡률이 달라지므로 근거리표적과 원거리표적은 서로 다른 위치 추정 방법을 필요로 한다.

원거리 표적에 의하여 발생한 표적신호는 평면파로 가정하며, 평면파로 도달하는 표적신호의 각 감지기사이의 시간지연은 표적의 방위각의 함수로써 주어진다. 그러므로 각 감지기사이의 표적신호의 시간 지연을 이용하여 표적의 방위각을 추정할 수 있다.[2-6]

근거리 표적에 의하여 발생한 표적신호는 원거리 표적과 달리 구형파로서 각 감지기에 도달하게 된다. 이 경우 각 감지기에 도달하는 표적신호의 시간 지연은 표적의 방위각뿐만 아니라 감지기와 표적 사이의 거리의 함수로 나타나게된다. 그러므로 근거리 표적의 경우 각 감지기에 도달하는 표적신호의 시간지연을 이용하여 표적의 방위각과 거리를 추정할 수 있다.[7-11]

Huang등은 표적의 방위각만을 추정하는 1차원 MUSIC 알고리듬을 표적의 방위각과 거리에 대하여 2차원으로 확장하여 근거리 표적의 위치를 추정하였다.[7] 그러나 2차원으로 확장된 MUSIC 알고리듬은 방위각과 거리에 대하여 2차원 탐색을 하여야 하므로 많은 연산량을 필요로 한다. Starer등은 2차원 MUSIC 스펙트럼의 미분치가 영이 되는 1차원 경로를 얻어서 그 경로를 추종함으로써 2차원 MUSIC 스펙트럼의 극대값을 찾는 경로 추종 알고리듬을 제안하였다.[9] 이 방법은 감지기 개수 두 배정도의 1차원 탐색을 통하여 근거리 표적의 위치를 추정하므로 기존의 2차원 MUSIC 스펙트럼에 의한 근거리 표적의 위치 추정 알고리듬보다 적은 연산량이 필요하지만, 2차원 다항식으로부터 추종할 경로를 계산하여야하며 감지기의 개수가 증가함에 따라 탐색하여야 하는 경로의 수가 증가하여 연산량이 많아진다.

* 대우정밀 연구원
** 경북대학교 전자전기공학부 부교수
접수일자 : 1998년 3월 18일

이 논문에서는 표적개수 정도의 1차원 탐색을 통하여 2차원 MUSIC 스펙트럼의 극대값을 찾아 근거리 표적의 위치를 추정하는 알고리듬을 제안한다. 제안한 알고리듬은 원거리 표적의 방위각 추정 알고리듬으로 근거리 표적의 방위각을 추정하면 추정된 방위각은 실제 근거리 표적의 방위각과 거리의 대수적 관계식으로 주어짐을 이용하여, 이 대수적 관계식을 2차원 MUSIC스펙트럼의 극대값을 찾기 위한 경로로 사용한다. 제안한 대수적 경로 추종 알고리듬은 기존의 경로 추종 알고리듬에서 두 개의 결합된 2차원 다항식으로부터 경로를 얻는 대신에 대수적 관계식을 경로로 사용하며, 표적개수 정도의 1차원 탐색을 통하여 근거리 표적의 위치를 추정하므로 기존의 경로 추종 알고리듬보다 적은 연산량으로 근거리 표적의 위치를 추정할 수 있다.

Ⅱ. 근거리 표적의 위치 추정 알고리듬

1. 신호 모형 및 2차원 MUSIC

그림 1과 같이 M 표적으로부터 발생한 음향신호 $\{s_i(t),\ i=1,\ \cdots,\ M\}$가 L 감지기로 구성된 등간격 선배열 감지기에 도달하는 경우, k번째 감지기의 출력 $r_k(t)$는 식 (1)과 같이 위상 지연된 표적신호들과 감지기잡음 $n_k(t)$의 합으로 표현된다.

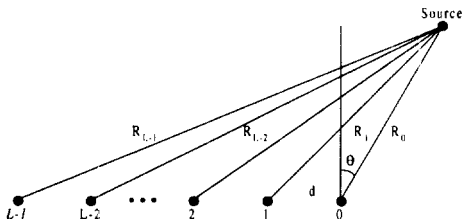


그림 1. 감지기와 표적의 기하학적 모델
Fig. 1 Geometry of a target and sensor array.

$$r_k(t) = \sum_{i=1}^{M} s_i(t)\exp\left(j\omega\tau_k(\theta_i, R_{i_0})\right) + n_k(t)$$
$$k = 0,\ 2,\ \cdots,\ L-1 \tag{1}$$

여기서 감지기잡음 $n_k(t)$는 평균이 0이고 분산이 σ^2인 정규 확률변수이다. $s_i(t)$는 관측시간 t에서 기준 감지기에 도달한 i번째 표적의 표적신호이다. ω는 표적신호의 전송주파수이며, $\tau_k(\theta_i, R_{i_0})$는 i번째 표적신호의 기준 감지기와 k번째 감지기사이 시간지연으로 다음 식과 같다.

$$\tau_k(\theta_i, R_{i_0}) = \frac{1}{c}\left(R_{i_k} - R_{i_0}\right) \tag{2}$$

여기서 θ_i는 표적의 방위각, R_{i_0}은 기준감지기와 i번째 표적과의 거리, R_{i_k}는 k번째 감지기와 i번째 표적과의 거리를 나타낸다. c는 표적신호의 전달 속도이다. k번째 감지기와 표적과의 거리 R_{i_k}는 삼각법에 의하여 다음 식과 같다.

$$R_{i_k} = \sqrt{R_{i_0}^2 + 2kdR_{i_0}\sin\theta_i + (kd)^2} \tag{3}$$

그러므로 i번째 표적신호의 기준 감지기와 k번째 감지기사이의 시간지연 $\tau_k(\theta_i, R_{i_0})$는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_k(\theta_i, R_{i_0}) = \frac{\sqrt{R_{i_0}^2 + 2kdR_{i_0}\sin\theta_i + (kd)^2} - R_{i_0}}{c} \tag{4}$$

식 (4)로부터 근거리 표적 신호의 감지기사이의 시간 지연은 근거리 표적의 방위각뿐만 아니라 거리의 함수로 주어짐을 알 수 있다. 그러므로 근거리 표적신호의 감지기사이의 시간 지연을 이용하여 기존의 MUSIC 알고리듬을 2차원 탐색 기법으로 확장하여 근거리 표적의 위치를 추정할 수 있다.[7]

Huang등은 표적의 방위각만을 추정하는 1차원 MUSIC 알고리듬을 근거리 표적의 위치 추정을 위하여 아래와 같이 2차원으로 확장하였다.[7] 2차원 MUSIC 알고리듬은 다음 식과 같은 MUSIC 스펙트럼의 극대값을 찾음으로써 표적의 위치를 추정한다.

$$P(\theta,\ r) = \frac{1}{a^H(\theta,\ r)\,E_N E_N^H\,a(\theta,\ r)} \tag{5}$$

여기서 E_N은 잡음 부분공간으로서 감지기 출력 공분산 행렬의 $L-M$개의 최소 고유값에 해당하는 고유벡터로써 구성된다. 또한 $a(\theta,\ r)$은 조종벡터로서 다음 식과 같다.

$$a(\theta,\ r) = \left[1 \quad e^{j\omega\tau_1(\theta,\ r)} \quad \cdots \quad e^{j\omega\tau_{L-1}(\theta,\ r)}\right]^T \tag{6}$$

그러나 이러한 2차원 MUSIC 알고리듬은 방위각과 거리에 대하여 2차원 탐색을 하여야 하므로 표적의 위치 추정에 많은 연산량을 필요로 한다.

2. 경로 추종 알고리듬

Starer등은 1차원 탐색을 통하여 2차원 MUSIC스펙트럼의 극대값을 찾아 근거리 표적의 위치를 추정하는 경로 추종 알고리듬을 제안하였다.[9] k번째 감지기와 표적 사이의 거리 R_k는 이항전개를 통하여 다음 식과 같이 근사화 된다.

$$R_k \approx R_0\left[1 + \left(\frac{kd}{R_0}\right)\sin\theta + \frac{1}{2}\left(\frac{kd}{R_0}\right)^2(1-\sin^2\theta)\right] \tag{7}$$

여기서 R_k는 M개의 표적가운데 하나의 표적과 k번째 감지기사이의 거리를 나타내며 식(3)의 R_{1_n}에서 1을 생략한 것이다. 마찬가지로 R_0는 기준감지기와 표적사이의 거리이며 R_{1_n}에서 1을 생략한 것이다. $a(\theta, r)$의 k번째 항 $a_k(\theta, r)$은 식 (6)과 식 (7)로부터 식 (8)과 같이 근사화 된다.

$$a_k(\theta, r) = \mu^{k^2}\eta^k \tag{8}$$

여기서 η, μ는 다음 식과 같으며

$$\eta = e^{j\alpha_\eta}, \quad \mu = e^{j\alpha_\mu} \tag{9}$$

α_η와 α_μ는 식 (10)과 식 (11)과 같다.

$$\alpha_\eta = 2\pi \frac{f}{c} d\sin\theta \tag{10}$$

$$\alpha_\mu = \pi \frac{f}{c}\frac{d^2}{r}(1-\sin^2\theta) \tag{11}$$

2차원 MUSIC 비용함수를 식 (12)와 같이 2차원 MUSIC 스펙트럼의 역함수로 두면 2차원 MUSIC 비용함수는 식 (13)과 같은 2차원의 다항식으로 나타난다.

$$F(\theta, r) = a^H(\theta, r) E_N E_N^H a(\theta, r) \tag{12}$$

$$F(\eta, \mu) = \sum_{j=0}^{L-1}\sum_{k=0}^{L-1} w_{jk}\eta^k \mu^{k^2 \quad j^2} \tag{13}$$

여기서 w_{jk}는 식 (14)와 같다.

$$w_{jk} = [E_N E_N^H]_{j+1,k+1} \quad j,k = 0, 1, \cdots, L-1 \tag{14}$$

비용함수 $F(\eta, \mu)$를 최소가 되게 하는 η와 μ는 식 (15)과 식(16)을 동시에 만족시킨다.

$$p(\alpha_\eta|\alpha_\mu) = \frac{\partial F(\eta,\mu)}{\partial \alpha_\eta} = j\sum_{j=0}^{L-1}\sum_{k=0}^{L-1}(k-j) w_{jk}\eta^k \mu^{k^2 \quad j^2} = 0 \tag{15}$$

$$q(\alpha_\mu|\alpha_\eta) = \frac{\partial F(\eta,\mu)}{\partial \alpha_\mu} = j\sum_{j=0}^{L-1}\sum_{k=0}^{L-1}(k^2 \quad j^2) w_{jk}\eta^k \mu^{k^2 \quad j^2} = 0 \tag{16}$$

식 (15)와 식 (16)을 동시에 만족시키는 η와 μ는 2차원 MUSIC 비용함수의 극대값, 극소값 또는 안장점 가운데 하나가 된다. 그러므로 표적의 거리 $r \to \infty$인 원거리 표적에 해당하는 α_μ 곧, $\alpha_\mu = 0$부터 α_μ를 크게 하면서 $p(\alpha_\eta|\alpha_\mu) = 0$이 되는 $2L-2$개의 경로를 따라서 $q(\alpha_\mu|\alpha_\eta)$의 부호가 서로 바뀌는 점을 찾는다. 이러한 점들로부터 식 (15)와 식 (16)을 동시에 만족시키는 η와 μ를 찾고, 그 가운데에서 2차원 MUSIC 비용함수의 극소값이 되는 점들로부터 M개의 η와 μ를 탐지한다. 탐지된 M개의 η, μ로부터 식 (10)과 식 (11)를 이용하여 근거리 표적의 위치를 추정한다.

Starer등이 제안한 경로 추종 알고리듬은 $2L-2$번의 1차원 탐색을 함으로써 근거리 표적의 위치를 추정하므로 2차원 MUSIC 알고리즘보다 적은 연산량을 필요로 한다.[9] 그러나 두 개의 결합된 2차원 다항식으로부터 추종할 경로를 계산하여야하고, 감지기의 개수가 증가하면 탐색하여야 하는 경로의 수가 증가하므로 연산량이 많아진다.

Ⅲ. 제안한 알고리듬

이 장에서는 표적 개수 상도의 1차원 탐색을 통하여 근거리 표적의 위치를 추정하는 연산량이 적은 효과적인 대수적 경로 추종 알고리듬을 제안한다. 제안한 알고리듬은 원거리 표적의 방위각 추정 알고리듬으로 근거리 표적을 추정하면 추정된 방위각은 실제 근거리 표적의 방위각과 거리의 대수적 관계식으로 주어지므로 이 대수적 관계식을 이용하여 2차원 MUSIC 스펙트럼의 극대값을 찾기 위한 경로를 설정하여 근거리 표적의 위치를 추정한다.

근거리 표적을 원거리 표적으로 가정하면 감지기사이의 출력신호의 시간지연은 $d/c\sin\bar{\theta}$로서 동일하다고 가정할 수 있다. 따라서 원거리 표적이라고 가정하고 추정한 방위각 $\bar{\theta}$는 식 (17)과 같이 인접한 감지기사이의 출력신호의 시간지연과 $d/c\sin\bar{\theta}$의 제곱오차가 최소가 되는 $\bar{\theta}$로부터 얻을 수 있다.

$$\hat{\theta} = \min_{\bar{\theta}} \left\| \begin{bmatrix} \frac{d}{c}\sin\bar{\theta} - (\tau_1(\theta,R_o) - \tau_0(\theta,R_o)) \\ \frac{d}{c}\sin\bar{\theta} - (\tau_2(\theta,R_o) - \tau_1(\theta,R_o)) \\ \vdots \\ \frac{d}{c}\sin\bar{\theta} - (\tau_{L-1}(\theta,R_o) - \tau_{L-2}(\theta,R_o)) \end{bmatrix} \right\|_2 \tag{17}$$

여기서 $\|\cdot\|_2$는 벡터의 2-노옴(2-norm)을 나타낸다. 식 (17)을 만족시키는 $\hat{\theta}$는 최소제곱오차법으로부터 다음 식을 만족시키게 된다.

$$\begin{aligned} \frac{d}{c}\sin\hat{\theta} &= \frac{1}{L-1}\sum_{k=0}^{L-2}[\tau_{k+1}(\theta,R_o) - \tau_k(\theta,R_o)] \\ &= \frac{\tau_{L-1}(\theta,R_o) - \tau_0(\theta,R_o)}{L-1} \end{aligned} \tag{18}$$

식 (2)를 써서 식 (18)을 정리한 뒤 식 (3)을 대입하고 그 결과를 $\sin\theta$에 대하여 정리하면 다음 식이 얻어진다.

$$\sin\theta = \sin\hat{\theta} - \frac{1}{2}(1-\sin^2\hat{\theta})\frac{D}{R_o} \tag{19}$$

여기서 $D=(L-1)d$는 전체 선배열 감지기의 길이를 나타낸다. 식 (19)는 실제 근거리 표적의 위치와 원거리 표적으로 가정하고 추정한 방위각사이의 대수적 관계를 나타낸다.

식 (19)의 대수적 관계식을 그림 2에 나타내었다.

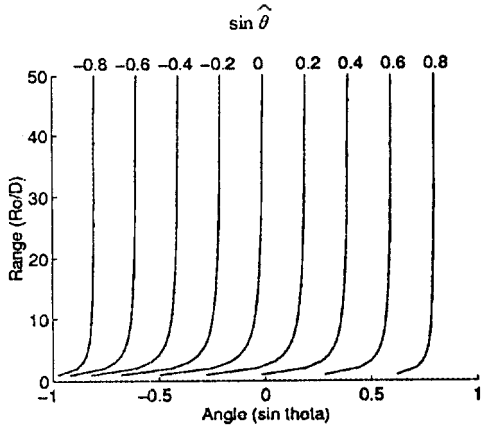


그림 2. 추정된 방위각과 실제 근거리 표적의 위치의 관계
Fig. 2 Relation of estimated bearing and actual near-field position.

그림 2에서 가로축은 sin 영역에서 근거리 표적의 방위각을 나타내고, 세로축은 선배열 감지기의 길이로 정규화한 표적의 거리를 나타낸다. 원거리 표적의 방위각 추정 알고리듬으로 근거리 표적을 추정한 $\sin\hat{\theta}$을 -0.8에서 0.8까지 0.2간격으로 바꾸어가면서 각각의 추정된 방위각에 대응되는 근거리 표적의 위치를 나타내었다. 곧, 근거리 표적을 원거리 표적으로 가정하여 원거리 표적의 방위각 추정 알고리듬으로 근거리 표적의 방위각을 추정하면 실제 근거리 표적은 그림 2와 같이 식 (19)를 만족하는 대수적 경로 위에 존재하게된다.

이 논문에서 제안한 근거리 표적의 위치 추정 알고리듬을 요약하면 다음과 같다.

1. 초기화

   다음 식으로 주어진 1차원 MUSIC 스펙트럼의 극대값을 찾음으로써 실제 근거리 표적을 원거리 표적으로 가정하여 방위각 $(\hat{\theta}_i,\ i=1,2,\cdots,M)$을 추정한다.

$$P(\hat{\theta}_i)=\frac{1}{a^H(\hat{\theta}_i)E_NE_N{}^Ha(\hat{\theta}_i)}\quad i=1,2,\cdots,M \tag{20}$$

   여기서 $a(\hat{\theta}_i)$는 표적이 원거리에 존재하는 경우의 조종벡터로 $a(\hat{\theta}_i,\ \infty)$와 같다.

2. 경로 설정

   1단계에서 추정한 M개의 방위각 $\hat{\theta}_i$로부터 식 (19)를 이용하여 2차원 MUSIC 스펙트럼의 극대값을 찾기 위한 M개의 경로를 설정한다.

3. 근거리 표적의 위치 추정

   2단계에서 설정한 경로를 따라 r을 바꾸어가면서 격자탐색을 하여 스펙트럼이 최대가 되는 점을 찾고, 이를 국부 탐색을 위한 초기값으로 설정한다.

$$P(\theta,r)=\frac{1}{a^H(\theta,r)E_NE_N{}^Ha(\theta,r)} \tag{21}$$

   여기서 θ는 다음과 같다.

$$\theta=\sin^{-1}\left(\sin\hat{\theta}-\frac{1}{2}(1-\sin^2\hat{\theta})\frac{D}{r}\right) \tag{22}$$

4. 국부 탐색

   3단계에서 설정한 초기값으로부터 뉴튼방법과 같은 일반적인 최적화 기법을 이용하여 2차원 MUSIC 스펙트럼의 극대값을 얻음으로써 근거리 표적의 방위각과 거리를 추정한다.

제안한 대수적 경로 추종 알고리듬은 대수적 관계식으로부터 1차원 탐색을 위한 경로를 설정하므로 기존의 경로 추종 알고리듬에서 두 개의 결합된 2차원 다항식으로부터 경로를 얻는 것 보다 간략하다. 또한 제안한 대수적 경로 추종 알고리듬은 1차원 MUSIC 알고리듬으로 $\hat{\theta}_i$을 초기화 한 뒤, M번의 1차원 탐색으로 근거리 표적의 위치를 추정하므로 2차원 탐색을 하는 2차원 MUSIC 알고리듬이나 $2L-2$번의 1차원 탐색을 하는 기존의 경로 추종 알고리듬보다 적은 연산량을 필요로 한다.

Ⅳ. 모의실험

근거리 표적의 위치를 추정하는 2차원 MUSIC 알고리듬, 기존의 경로 추종 알고리듬과 제안한 대수적 경로 추종 알고리듬의 성능을 평가하기 위하여 Starer등이 수행한 시뮬레이션과 동일한 조건에서 시뮬레이션을 수행하였다.[9] 반파장 간격으로 배열된 5개의 감지기를 가지는 등간격 선배열 감지기를 사용하여 방위각 5°, 거리 10 D 그리고 방위각 17°, 거리 7.5 D에 존재하는 신호 대 잡음비가 3dB인 두 개의 근거리 표적의 위치를 추정하였다. 격자 탐색을 위하여 방위각의 sine값은 -1에서 1까지 0.01씩 등간격으로 나누어 201개의 격자를 만들고, 표적의 거리는 거리 r의 역수에 대하여 0에서 0.64까지 0.064씩 등간격으로 11개의 격자를 만들었다. 256개의 표본을 사용하여 표본 감지기출력 공분산 행렬을 만들었다.

2차원 MUSIC 알고리듬은 방위각과 거리에 대하여 2차원 격자 탐색을 하고, 기존의 경로 추종 알고리듬은 거리에 대하여 $2L-2$번의 1차원 격자 탐색을 한다. 제안한 대수적 경로 추종 알고리듬은 방위각에 대하여 1차원 격자 탐색한 뒤, 거리에 대하여 M번의 1차원 격자 탐색을 한다. 이들 알고리듬은 격자 탐색을 통하여 국부 탐색을 위한 초기값을 설정하고, 설정된 초기값으로부터 국부

탐색을 통하여 근거리 표적의 위치를 추정한다. 여기서는 기존의 알고리듬과 제안한 알고리듬이 설정한 초기값을 비교하고, 각 알고리듬이 국부 탐색을 하기 위한 초기값을 설정하는데 필요한 연산량을 비교하였다.

그림 3에서 기존의 경로 추종 알고리듬과 제안한 경로 추종 알고리듬이 추종한 경로를 나타내었다. 그림에서 사로축은 추정된 표적의 방위각을 나타내고, 세로축은 센베얼 감지기의 길이로 정규화하여 나타내었다. 2차원 MUSIC 스펙트럼의 크기를 등고선으로 나타내었고 기존의 경로 추종 알고리듬으로 추종한 경로를 'x'로 나타내고, 제안한 대수적 경로 추종 알고리듬으로 추종한 경로를 'o'로 나타내었다. 기존의 경로 추종 알고리듬으로 추종한 경로는 8개의 경로 중에서 실제 표적이 있는 경로 2개만 나타내었다. 기존의 경로 추종 알고리듬과 제안한 대수적 경로 추종 알고리듬에 의하여 추종한 경로가 매우 비슷함을 알 수 있다.

그림 4에서 기존의 경로 추종 알고리듬과 제안한 대수적 경로 추종 알고리듬이 2차원 국부 탐색을 위하여 설정한 초기값을 나타내었다. 그림에서 'x'는 2차원 MUSIC 알고리듬으로 설정한 초기값을 나타내고, '+'는 기존의 경로 추종 알고리듬으로 설정한 초기값을 나타낸다. 제안한 대수적 경로 추종 알고리듬으로 설정한 초기값은 '*'로 나타내었다. 2차원 MUSIC 알고리듬, 기존의 경로 추종 알고리듬과 제안한 대수적 경로 추종 알고리듬에 의하여 설정한 초기값이 서로 유사함을 알 수 있다.

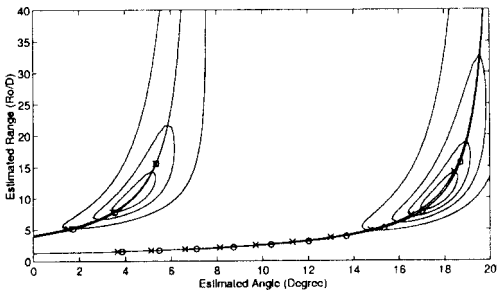


그림 3. 근거리 표적의 위치 추정을 위한 탐색 경로
Fig. 3 Searching path for near-field source localization.

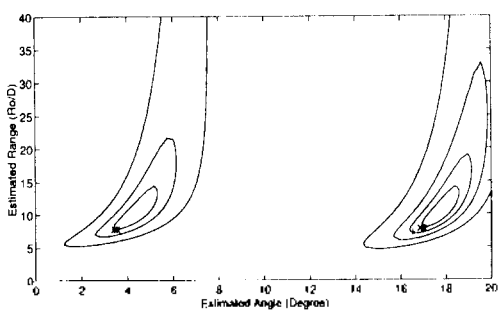


그림 4 근거리 표적의 위치 추정
Fig. 4 Near-field source localization.

표 1 부동소수점 연산회수
Table 1. Number of floating point operations.

근거리 표적의 위치 추정기법	2차원 MUSIC	기존의 경로 추종 알고리듬	대수적 경로 추종 알고리듬	1차원 MUSIC
연산회수	737,674	622,557	78,228	68,344

표 1은 기존의 알고리듬과 제안한 알고리듬이 국부 탐색을 통하여 근거리 표적의 위치를 추정하기 위한 초기값을 설정하는데 필요한 연산회수이다. 또한 1차원 MUSIC 알고리듬으로 원거리 표적의 방위각을 추정하는데 필요한 연산회수를 나타내었다. 연산회수는 *Matlab*의 내장함수인 FLOPS로부터 부동소수점 연산 회수를 얻은 것이다. 제안한 대수적 경로 추종 알고리듬이 근거리 표적의 위치 추정을 위한 초기값을 설정하는데 필요한 연산회수와 1차원 MUSIC 알고리듬에 의해 원거리 표적의 방위각을 추정하는데 필요한 연산회수가 비슷함을 알 수 있다. 그러므로 제안한 대수적 경로 추종 알고리듬은 경로를 초기화한 뒤 실제 경로 추종을 하는 데에는 적은 연산량을 필요로 함을 알 수 있다. 따라서 표적의 거리에 대한 해상도를 높이기 위하여 격자의 수를 늘여도 제안한 대수적 경로 추종 알고리듬은 경로 추종에 적은 연산량을 필요로 하므로 기존의 근거리 표적의 위치 추정 알고리듬보다 연산량이 적게 증가한다.

V. 결 론

원거리 표적의 방위각 추정 알고리듬으로 근거리 표적의 방위각을 추정하는 경우 추정된 방위각은 실제 근거리 표적의 방위각과 거리의 대수적 관계식으로 나타난다. 이 대수적 관계식을 이용하여 근거리 표적의 위치를 추정하기 위한 경로를 설정하고, 설정된 경로를 탐색하여 2차원 국부 탐색을 위한 초기값을 얻을 수 있다.

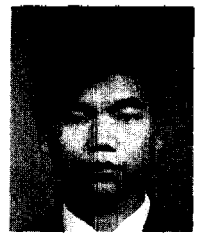
제안한 대수적 경로 추종 알고리듬과 기존의 경로 추종 알고리듬으로 추종한 경로가 거의 유사하고, 2차원 국부탐색을 위하여 설정한 초기값 또한 매우 비슷함을 모의실험을 통하여 확인하였다. 제안한 대수적 경로 추종 알고리듬은 1차원 MUSIC 알고리듬으로 추종한 경로를 초기화 한 뒤, M번의 1차원 탐색으로 근거리 표적의 위치를 추정하므로 기존의 경로 추종 알고리듬에 비하여 적은 연산량으로 근거리 표적의 위치를 추정할 수 있다. 따라서 제안한 대수적 경로 추종 알고리듬을 이용하여 근거리 표적의 위치를 좀더 효과적으로 추정할 수 있다.

참 고 문 헌

1. D. H. Johnson and D. E. Dudgeon, *Array Signal Processing*, Prentice Hall, 1993.
2. R. O. Schmidt, "Multiple Emitter Location and Signal Parameter Estimation," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 34, no. 3, pp. 276-280, March 1986.

3. A. Paulraj and T. Kailath, "Eigenstructure Method for Direction of Arrival Estimation in the Presence of Unknown Noise Fields," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. ASSP-34, no. 1, pp. 13-20, Feb. 1986.
4. J. A. Cadzow, "A High Resolution Direction-of-Arrival Algorithm for Narrow-Band Coherent and Incoherent Sources," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. ASSP-36, no. 7, pp. 965-979, July 1988.
5. B. D. Rao and K. V. S. Hari, "Performance Analysis of Root-MUSIC," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. ASSP-37, no. 12, pp. 1939-1949, Dec. 1989.
6. H. Parthasarathy, S. Prasad, and S. D. Joshi, "A MUSIC-like method for estimating quadratic phase coupling," *Signal Processing*, vol. 37, pp. 171-188, Sep. 1993.
7. Y. D. Huang and M. Barkat, "Near-Field Multiple Source Localization by Passive Sensor Array," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 39, no. 7, pp. 968-975, July 1991.
8. A. J. Weiss and B. Fridlander, "Range and Bearing Estimation Using Polynomial Rooting," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 18, no. 2, pp. 130-137, April 1993.
9. D. Starer and A. Nehorai, "Passive Localization of Near-Field Sources by Path Following," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 42, no. 3, pp. 677-680, March 1994.
10. H. S. Hung, S. H. Chang, and C. H. Wu, "3-D Music with Polynomial Rooting for Near-Field Source Localization," *Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 6, pp. 3065-3068, May 1996.
11. N. Yuen and B. Friedlander, "Performance Analysis of High Order ESPRIT for Localization of Near-Field Sources," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 46, no. 3, pp. 709-719, March 1998.

▲이 종 환(Jong-Hwan Lee)



1990년 ~ 1994년 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
1994년 ~ 1996년 : 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1996년 ~ 1998년 : 경북대학교 대학원 전자공학과(박사과정수료)
1998년 ~ 현재 : 대우정밀 연구원
※주관심분야 : 수중음향 신호처리

▲이 균 경(Kyun-Kyung Lee)

1978년 ~ 1977년 : 서강대학교 전자공학과(공학사)
1982년 ~ 1984년 : 미국 University of Texas at Austin (공학석사)
1984년 ~ 1987년 : 미국 University of Texas at Austin (공학박사)
1977년 ~ 1982년 : 국방과학연구소 연구원
1987년 ~ 1989년 : 미국 Oklahoma State University 조교수
1989년 ~ 현재 : 경북대학교 전자전기공학부 부교수
※주관심분야 : 수중음향 신호처리, 비선형제어 이론