

어레이 센서 위치보정 알고리즘을 적용한 광대역 다중 신호원 빔형성에서 새로운 신호원의 도래방향 추정

DOA Estimation of New Appearing Source in Wideband Multisource Beamforming with Array Sensor Position Calibration Algorithm

심재광*, 강성현**, 윤원식***

(Jae Kwang Shim*, Sung Hyoun Kang**, Won Sik Yoon***)

요약

본 논문에서는 어레이 센서 위치보정 알고리즘을 적용한 광대역 다중 신호원 빔형성 및 추적에 있어서 새로운 신호원이 검출되었을 때 초기 도래방향을 추정하는 새로운 방법을 제안한다. 초기 도래방향 추정에 있어 빔패턴 형성식을 이용함으로써 추정오차를 추적범위 내에 있도록 한다. 제안한 방법은 추정 도래방향 각의 해상도를 조정할 수 있으므로 주엽 폭 특성이 다른 다양한 빔형성기에 적용할 수 있다. 모의 시험을 통하여 양호한 신호원 검출 및 추적성능을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a new method to estimate the initial DOA of a new appearing source in wideband multisource beamforming and tracking with array sensor position calibration algorithm. By using a beam pattern formula for initial DOA detection, the proposed method keeps estimation error within possible tracking range and can be applied to several beamformers with different mainlobe width by adjusting DOA resolution. The simulation results show the performances of source detection and tracking.

I. 서론

적용 빔형성기와 위치화(localization) 알고리즘은 어레이 안테나의 모양, 센서이득과 위치 그리고 도래방향의 작은 오차에도 상당히 민감하다[1]. 도래방향의 오차에 견인한 빔형성 기법이 제안되었지만 오차 그 자체를 직접 보정하는 것이 아니라 오차에 의한 성능저하를 최소화하도록 suboptimal 성능을 갖도록 하였다[2]. 직접 도래방향을 검출하는 eigensubspace에 기준한 위치화 알고리즘이 제안되었으나 역시 어레이의 모양이나 센서특성에 따라 모델링오류가 빈번히 발생하고 쉽게 구현할 수 없는 단점이 있다[3]. 보다 효과적인 방법으로 신호 부공간을 이용하여 조향벡터를 직접 추적함으로써 계산량의 증대가 없고, 광대역 빔형성 빔형성기 자체가 위치오차를 보정하는 알고리즘이 제안되었다[4]. 조향벡터는 주파수, 위치파라미터, 센서위치 정보를 가지고 있다. 도래방향 오차를 없애기 위하여 위치파라미터를 추정하고 조향벡

터를 갱신하였으나, 만약 센서 위치오차가 존재할 경우 센서간 간격이 일정하게 유지되지 않으므로 갱신된 조향벡터에는 오차가 발생한다. 그러므로 위치파라미터뿐만 아니라 센서 위치벡터도 보정하여 조향벡터를 갱신해야 한다. 어레이 센서 위치보정 알고리즘을 광대역 다중 신호원 적용 빔형성기에 접목시켜, 효과적인 빔형성 및 위치파라미터 추정뿐만 아니라 추적 주파수별로 센서 위치를 추정, 조합하고 이를 이용하여 조향벡터를 갱신하는 방법이 제안되었다[5].

본 논문에서는 p 개의 현존하는 광대역 다중 신호원에 대한 빔형성 과정에서 새로운 신호원이 출현했을 때 신호원의 검출과 초기 도래방향을 추정하여 $p+1$ 번째 신호원에 대한 빔형성 및 추적을 수행하는 효율적인 알고리즘에 대하여 연구한다. 새로운 신호원의 초기 도래방향을 추정함에 있어 기존의 방법은 검출된 새로운 신호원의 조향벡터와 어레이 manifold간의 최소값 즉 $\min\|(\cdot)\|^2$ 을 이용한다. 이 추정방법은 새로운 신호원의 조향벡터가 잡음성 신호에 의하여 계속 갱신되어 왔기 때문에 어레이 센서가 가지는 어레이 manifold 형태에서 벗어나 있으므로 특정한 도래방향에 대하여 빈번한 추정오류가 발생

* 한국모토로라 연구소

** LG정밀 연구소

*** 아주대학교 전자공학부

접수일자: 1998년 11월 4일

하고, 도래방향각 $\theta \in [-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$ 의 전 영역에 걸친 탐색으로 인하여 계산량이 증대되는 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 새로운 신호원의 초기 도래방향 추정시 빔패턴 형성식을 이용하여 추정오류 문제를 해결하고, 시스템에 적용한 적응 빔형성기의 주엽폭 특성에 따라 방향탐지 해상도를 조절하여 계산량을 감소시키는 알고리즘을 제안한다. 이동하는 광대역 다중 신호원이 존재하고 새로운 이동 신호원이 출현하였을 때 제안한 초기 도래방향 추정방법을 적용하여 기존 방식과 성능을 비교하였다.

본 장에 이어 II장에서는 광대역 다중 신호원의 빔형성 및 추적에 관하여 서술하고, III장에서는 새로운 신호원의 검출 및 초기화 과정에 대하여 서술한다. IV장에서는 시험 환경 및 시험결과에 대하여 서술하며 끝으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 광대역 다중 신호원의 빔형성 및 추적

2.1 수신신호 모델링

일정한 주파수 대역을 가지며 도래방향이 다른 광대역 신호원을 위한 광대역 빔형성기의 구조가 그림 1에 도시되어 있다.

먼저 m 개의 센서를 갖는 선형 어레이 센서에 수신된 시간축 수신신호는 다음과 같다.

$$x_i = G_i \otimes s_i + n_i \tag{2.1}$$

$$G_i \triangleq [\delta(t - \tau_i)] \tag{2.2}$$

여기서 x_i 는 m 차원 수신신호 벡터이고, s_i 는 p 차원 원하는 광대역 신호 성분이며, n_i 는 부가잡음 벡터이다. G_i 는 m 차원 Dirac 충격 응답이고 \otimes 는 time convolution이다. $\tau_i = \frac{\xi_i \sin(\phi)}{C}$ 는 전달시간지연이며, $\xi_i, i=1, 2, \dots, m$ 는 각각의 센서위치를 나타내며, C 는 전달속도이다. 시간축에서 수신된 신호를 직/병렬 변환기를 이용하여 l 개 표본 블록을 만들고, 매 블록마다 DFT 취하여 주파수축으로 변환한다. m 개의 센서에서 각각의 주파수에 해당하는 신호 성분을 분리하고, 같은 주파수 성분들을 모아 주파수 별로 독립적인 수신신호를 구성한다.

m 개의 센서를 갖는 선형 어레이 센서에 의해 수신된 p 개 광대역 신호를 주파수축으로 변환시킨 수신신호는 다음과 같다.

$$x_{f,n} = G_{f,n} s_{f,n} + n_{f,n} \tag{2.3}$$

$$G_{f,n} = [F(\theta_{1,n}, \xi, f), \dots, F(\theta_{p,n}, \xi, f)] \tag{2.4}$$

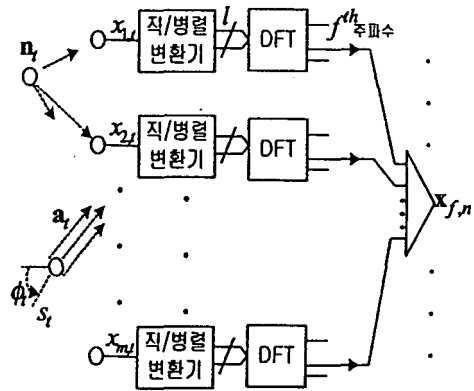


그림 1. 광대역 신호원 빔형성기
Fig. 1. Wideband beamformer.

여기서 $f = 0, \frac{1}{T}, \dots, \frac{l-1}{T}$ 인 l 개의 주파수이며, n 는 표본 블록 처리 횟수이다. $x_{f,n}$ 은 m 차원 수신신호 벡터이며, $s_{f,n}$ 은 p 차원 원하는 광대역 신호벡터로써 $[s_{1,f,n}, s_{2,f,n}, \dots, s_{p,f,n}]^T$ 이다. $n_{f,n}$ 은 m 차원 부가잡음 벡터이다. $G_{f,n}$ 은 $m \times p$ 차원 조향행렬이며, p 번째 신호원의 조향벡터 성분은

$$F(\theta_p, \xi, f) = g_{p,f,n} = [e^{-j\xi_1 \theta_p}, \dots, e^{-j\xi_p \theta_p}]^T \tag{2.5}$$

이다. 파수는 $\theta_p \triangleq \frac{2\pi \sin(\phi_p)}{C}$ 로써 p 번째 신호원의 도래방향 ϕ_p 에 대한 정보를 가지며, 도래방향 각 ϕ_p 는 $\phi \in [-\pi/2, \pi/2]$ 의 범위를 가진다. $[\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m]^T$ 는 센서 위치벡터이며, $\sum_{i=1}^m \xi_i = 0$ 를 만족하는 원점 대칭 구조를 갖는다.

본 알고리즘에서는 아래와 같은 가정을 둔다. $G_{f,n}$, $s_{f,n}$, $n_{f,n}$ 은 서로 상호 독립적이며, $G_{f,n}$ 은 $s_{f,n}$ 와 $n_{f,n}$ 비해 천천히 변화 한다. p 개의 원하는 신호원 들은 위치화되어 있어야 하며, 초기에 원하는 신호원의 갯수를 알고 있다고 가정 한다.

2.2 빔형성기

광대역 다중신호원 빔형성 및 추적기의 구조를 그림 2에 도시하였다. 본 논문에서는 전형적인 빔형성기를 사용한다. 먼저 어레이 센서 위치오차를 갖는 m 개 센서의 초기 추정 위치벡터는 다음과 같다.

$$\xi_0 = [\xi_{1,0}, \xi_{2,0}, \dots, \xi_{m,0}]^T \tag{2.6}$$

원하는 신호원의 도래방향을 추적하기 위한 초기 추정

조향행렬은 다음과 같다.

$$\tilde{\mathbf{G}}_{f,0} = [F(\vartheta_{1,0}, \tilde{\mathbf{z}}_0, f), \dots, F(\vartheta_{p,0}, \tilde{\mathbf{z}}_0, f)] \quad (2.7)$$

여기서 $\vartheta_{p,0}$ 는 $\vartheta_{p,0} \triangleq \frac{2\pi \sin(\hat{\vartheta}_{p,0})}{C}$ 이며, $\hat{\vartheta}_{p,0}$ 는 p 번째 신호원의 초기 도래방향 추정치이다.

빔형성 과정을 살펴보면 다음과 같다.

$$\mathbf{H}_{f,n} = \tilde{\mathbf{G}}_{f,n} (\mathbf{G}_{f,n}^H \tilde{\mathbf{G}}_{f,n})^{-1} \quad (2.8)$$

$$\hat{\mathbf{s}}_{f,n} = \mathbf{H}_{f,n}^H \mathbf{x}_{f,n} \quad (2.9)$$

어레이 센서 위치벡터와 원하는 신호들의 도래방향을 초기 추정하여 식 (2.7)과 같이 초기 추정 조향행렬을 발생시키고, (2.8)과 같이 가중행렬을 생성한다. 이를 이용하여 식 (2.9)과 같이 원하는 출력 신호벡터를 얻는다. 원하는 신호벡터에 대하여 $\mathbf{H}_{f,n}^H \tilde{\mathbf{G}}_{f,n} = \mathbf{I}_p$ 를 만족해야 하며, \mathbf{I}_p 는 $p \times p$ identity 행렬을 나타낸다.

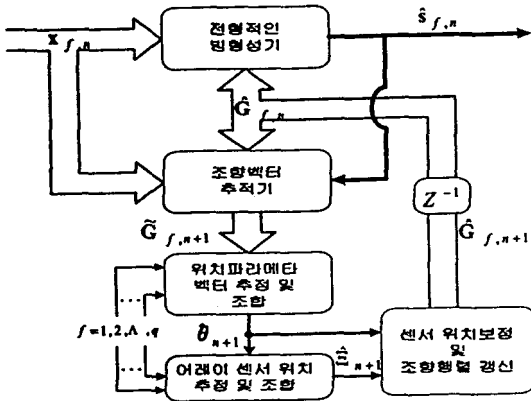


그림 2. 광대역 다중 신호원 빔형성 및 추적기
Fig. 2. Wideband multisource beamforming and tracking.

2.3 광대역 다중 신호원의 조향행렬 추적기

조향행렬의 추적을 위하여 먼저 원하는 신호원이 가지는 l 개의 주파수 성분중 SNR이 충분히 큰 주파수 그리고 위치 오차의 분산이 적고 resolution이 좋은 높은 주파수를 추적 주파수로 선정한다. 또 계산량을 고려하여 추적 주파수 개수 q 개 f_1, f_2, \dots, f_q 를 선정한다. 선정된 추적 주파수마다 다중 신호원의 빔형성기를 통해 얻은 추정 신호 벡터 $\hat{\mathbf{s}}_{f,n}$ 를 이용하여 조향행렬 $\tilde{\mathbf{G}}_{f,n}$ 을 추적하며, 그 과정은 다음과 같다.

$$\tilde{\mathbf{G}}_{f,n+1} = \tilde{\mathbf{G}}_{f,n} + \mu (\mathbf{x}_{f,n} - \tilde{\mathbf{G}}_{f,n} \hat{\mathbf{s}}_{f,n}) \hat{\mathbf{s}}_{f,n}^H \quad (2.10)$$

여기서 $\tilde{\mathbf{G}}_{f,n+1} \triangleq [\tilde{\mathbf{g}}_{1,f,n+1}, \dots, \tilde{\mathbf{g}}_{p,f,n+1}]$ 인 $m \times p$ 행

렬이며, $\tilde{\mathbf{G}}_{f,n+1}$ 는 $\tilde{\mathbf{G}}_{f,n}$ 에서 잡음이 최소화되도록 갱신되었지만 완전한 어레이 manifold 형태를 가지지 못하므로 $\tilde{\mathbf{G}}_{f,n+1}$ 대신 위첨자 tilde로 표기하였다. μ 는 추적 step size를 나타낸다.

2.4 위치추정 및 위치파라미터 갱신

$\tilde{\mathbf{G}}_{f,n+1}$ 는 어레이 manifold 형태를 가지지 못하므로 직접 도래방향을 추정, 갱신할 경우 오차가 발생할 수 있다. 그러므로 어레이 manifold로 투영한 후 위치파라미터 벡터를 갱신하고 새로운 조향행렬을 생성해야 한다. 먼저 어레이 manifold로 투영하는 과정을 상술하면 다음과 같다. 위치파라미터 갱신은 다음과 같이 least-square 추정방법을 이용한다.

$$\vartheta_{p,l,n+1} = \vartheta_{p,l,n} + \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m \tilde{\mathbf{e}}_{i,n} (\tilde{\vartheta}_{i,p,l,n+1} - f \tilde{\mathbf{e}}_{i,n} \vartheta_{p,l,n})}{f \sum_{i=1}^m \tilde{\mathbf{e}}_{i,n}^2} \right\} \quad (2.11)$$

여기서 $\tilde{\vartheta}_{i,p,l,n} = f \tilde{\mathbf{e}}_{i,l,n} \vartheta_{p,l,n}$ 이다. 다중신호원에서는 p 개의 신호원이 존재하므로 주파수 f 에 대한 위치파라미터 벡터 $\tilde{\boldsymbol{\theta}}_{n+1}$ 는 p 차원 벡터가 된다. 식 (2.11)을 다중신호원인 경우로 확장하여 정리하면 다음과 같다.

$$\tilde{\boldsymbol{\theta}}_{f,n+1} = \tilde{\boldsymbol{\theta}}_{f,n} - \frac{\arg \Delta (\tilde{\mathbf{G}}_{f,n+1}, \tilde{\mathbf{G}}_{f,n})^T \tilde{\mathbf{z}}_n}{f \tilde{\mathbf{z}}_n^T \tilde{\mathbf{z}}_n} \quad (2.12)$$

여기서 $\arg \Delta (\cdot)$ 는 $m \times p$ 차원 행렬이며 $A = [a_{i,j}]$ 이고 $B = [b_{i,j}]$ 일 때 $\arg \Delta (A, B) = [(a_{i,j} b_{i,j}^H)]$ 이다. $\tilde{\boldsymbol{\theta}}_{f,n+1}$ 은 $p \times 1$ 벡터로 $\tilde{\boldsymbol{\theta}}_{f,n+1} = [\vartheta_{1,n+1}, \dots, \vartheta_{p,n+1}]^T$ 를 갖는다.

이상과 같이 광대역 다중신호원을 q 개의 추적 주파수에 대한 병렬처리로 개별 주파수마다 위치파라미터 벡터를 갱신하였다. 원하는 신호원의 도래방향은 한 방향이므로 q 개의 추적 주파수에서 추정된 오차를 감소시키기 위하여 위치파라미터를 조합하며 그 과정은 다음과 같다.

$$\tilde{\boldsymbol{\theta}}_{n+1} \triangleq \frac{\sum_{k=1}^q f_k^2 \tilde{\boldsymbol{\theta}}_{f_k,n+1}}{\sum_{k=1}^q f_k^2} \quad (2.13)$$

식 (2.13)에서 알 수 있듯이 위치 오차의 분산이 적고 resolution이 좋은 높은 주파수에 가중치를 두어 추정 오차를 최소화시킨다. 조향벡터는 주파수, 위치파라미터, 센서위치 정보를 가지고 있으므로 조향벡터 갱신을 위하여 위치파라미터뿐만 아니라 센서 위치벡터 $\hat{\mathbf{z}}_{n+1}$ 도 추정해야 하며 그 추정과정은 다음과 같다.

2.6 어레이 센서 위치보정 및 조향벡터 갱신

p 개의 다중신호원에 대한 어레이 센서 위치벡터의 추정은 다음과 같다.

$$\hat{\xi}_{f,n+1} = \hat{\xi}_{f,n} - \frac{\arg \Delta(\hat{G}_{f,n+1}, \hat{G}_{f,n}) \hat{\theta}_{n+1}}{f \hat{\theta}_{n+1}^T \hat{\theta}_{n+1}} \quad (2.14)$$

추정한 어레이 센서 위치벡터는 초기에 가정한 $\sum_{i=1}^K \xi_i = 0$ 의 조건을 반드시 만족해야한다. 그러나

$\hat{\xi}_{f,n+1}$ 은 완전한 어레이 manifold 형태를 가지지 못하므로 추정한 어레이 센서 위치벡터가 조건에 부합되지 않는 경우가 발생한다. 만약 조건을 만족하지 않을 경우 위치파라미터 추정시 오차가 발생한다. 그러므로 다음과 같은 과정을 통하여 조건을 만족 시킨다.

$$\hat{\xi}_{f,n+1} = \prod_M \left\{ \hat{\xi}_{f,n} - \frac{\text{Im} \{ \log(\hat{g}_{i,f,n+1} e^{j \hat{\xi}_i \cdot \hat{\theta}_n}) \}}{f \hat{\theta}_{f,n+1}} \right\} \quad (2.15)$$

여기서 $\prod_M \triangleq I_m - \frac{1_m 1_m^T}{m}$ 이며, 1_m 으로의 직교투영을 의미한다. 1_m 은 $m \times 1$ 열벡터이다. 즉 임의의 벡터 a 가 있을 때 $\prod_M \cdot a = [a_i, j]$ 는 항상 $\sum a_i, j = 0$ 을 만족한다. 식 (2.15) 과정을 거쳐 q 개의 추적 주파수마다 센서 위치벡터를 갱신한다. 추정오차를 감소시키기 위하여 추적 주파수별 센서 위치벡터를 조합하며 그 과정은 다음과 같다.

$$\hat{\xi}_{n+1} \triangleq \frac{\sum_{k=1}^q f_k^2 \hat{\xi}_{f_k, n+1}}{\sum_{k=1}^q f_k^2} \quad (2.16)$$

센서 위치에 오차가 있는 경우 센서 위치 오차로 인해 발생된 조향벡터 오차가 $\hat{\theta}_{n+1}$ 의 오차인지 또는 $\hat{\xi}_{f,n+1}$ 의 오차인지 정확한 구분이 모호하므로 이를 해결해야한다. 이를 설명하기 위하여 조향벡터 g_f 의 원소를 살펴 보면 다음과 같다.

$$g_{1,f} = \exp \left\{ -j \left(\frac{2\pi f \sin \phi}{C} \frac{\lambda}{2} a \right) \frac{\xi_1}{a} \right\} \quad (2.17)$$

$$g_{2,f} = \exp \left\{ -j \left(\frac{2\pi f \sin \phi}{C} \frac{\lambda}{2} a \right) \frac{\xi_2}{a} \right\} \quad (2.18)$$

여기서 a 를 모호요소라 정의하며, 식 (2.17)과 (2.18)은 각각 조향벡터의 첫 번째와 두 번째 어레이 센서에 해당하는 원소이다. 모호 요소 a 가 1인 경우, 센서 간격은 $\lambda/2$ 로 유지된다. a 가 1이 아닌 경우, 센서 간격은 $\lambda/2$ 로 유지되지 않으므로 센서 위치 오차때문에 위치

파라미터와 센서 위치벡터 사이에 모호함이 존재한다. 이를 해결하기 위하여 a 를 구해야 하며 그 방법은 다음과 같다.

$$a = \frac{|\text{첫 번째 센서위치} - m \text{ 번째 센서위치}|}{m-1} \quad (2.19)$$

센서 위치오차가 없을 때 첫 번째 센서와 m 번째 센서 간격 차는 $\left| \frac{(m-1)\lambda}{2} \right|$ 이므로 a 는 1이 된다. $a > 1$ 이면 추정한 센서의 간격이 실제보다 넓고, $a < 1$ 이면 실제보다 좁은 경우이다. 원하는 신호원의 도래방향으로 수렴하면 $a \approx 1$ 이 된다. a 를 위치파라미터와 어레이 센서 위치 벡터에 적용하면 다음과 같다.

$$\hat{\theta}_{n+1} \triangleq a \cdot \hat{\theta}_{n+1} \quad (2.20)$$

$$\hat{\xi}_{n+1} \triangleq \frac{\hat{\xi}_{n+1}}{a} \quad (2.21)$$

모호함을 제거시킨 후 조향벡터를 아래와 같이 갱신한다.

$$\hat{G}_{f,n+1} = [F(\hat{\theta}_{1,n+1}, \hat{\xi}_{n+1,1}, f), \dots, F(\hat{\theta}_{p,n+1}, \hat{\xi}_{n+1,p}, f)] \quad (2.22)$$

이들 식 (2.8)의 전형적인 빔형성기에 적용하여 다시 빔형성 과정부터 반복적으로 수행한다.

III. 새로운 신호원 검출 및 추적

3.1 신호원의 존재 여부 판단

i 번째 신호원의 존재 여부는 방사되는 에너지를 검출하여 판단하며, 그 에너지 성분은 다음과 같이 구할 수 있다(6).

$$e_{i,f,n} = (1-a)e_{i,f,n-1} + a \left(|\hat{s}_{i,f,n}|^2 - \frac{\|\hat{\mathbf{g}}_{f,n}\|^2}{m^2} \right) \quad (3.1)$$

여기서 $0 < a < 1$ 이다. 양호한 방향성을 가지고 도래하는 i 번째 신호원이 존재하면 어느 준위 이상의 입력 에너지를 식 (3.1)에서 얻게되고, 신호원이 존재하지 않을 경우 식(3.1)은 0으로 수렴한다. $e_{i,f,n}$ 를 적절히 선정한 문턱값과 비교하여 그 레벨로써 신호원의 존재 여부를 판단한다.

3.2 새로운 신호원 검출, 초기화 및 추적

새로이 도래한 신호원은 다음과 같이 검출한다.

$$\begin{aligned} \hat{y}_{f,n} &= \frac{\hat{\mathbf{g}}_{p+1,f,n-1}^H \mathbf{0}_{f,n}}{m} \\ \tilde{\mathbf{g}}_{p+1,f,n} &= \tilde{\mathbf{g}}_{p+1,f,n-1} \\ &+ \mu_p (\hat{\mathbf{n}}_{f,n} - \tilde{\mathbf{g}}_{p+1,f,n-1} \hat{y}_{f,n}) \hat{y}_{f,n}^H \end{aligned} \quad (3.2)$$

는 임의의 각 $\theta_{p+1,0}$ 을 설정하여 $F(\hat{k}_{p+1,0})$ 을 발생시키고, 계속 $p+1$ 번째 신호원의 존재 유무를 검증한다. 식 (3.2)는 잡음 속에서 새로 도래한 신호원만을 찾는다. 새로이 도래한 신호원의 에너지 성분은 다음과 같이 구할 수 있다[6].

$$e_{p+1,l,n} = (1-a)e_{p+1,l,n-1} + a(|\hat{y}_{l,n}|^2 - \frac{\|\hat{z}_{l,n}\|^2}{m(m-1)}) \quad (3.3)$$

식 (3.3)의 $e_{p+1,l,n}$ 을 적절히 선정된 문턱값과 비교하여 그 준위 이상이면 $p+1$ 번째 신호원이 존재하므로 $p+1$ 번째 신호원에 대한 신호 검출 및 추적을 수행하도록 행렬 차원을 $p+1$ 로 확장한다.

신호원이 검출되면 식 (3.3)의 $\hat{y}_{l,n}$ 를 추정 신호 $\hat{s}_{p+1,l,n}$ 로 놓는다. $\tilde{g}_{p+1,l,n}$ 는 어레이 manifold의 형태가 아니므로 새로운 신호원의 조향벡터로 수립시켜야 한다. 먼저 여러 도래 방향에 따른 위치 파라미터 k 에 대한 $\|\tilde{g}_{p+1,l,n} - F(k)\|^2$ 을 계산하여 최소값을 갖는 k 를 찾는다. 이를 $\hat{k}_{p+1,l,n-1}$ 로 초기화하여 $\tilde{g}_{p+1,l,n-1}$ 인 조향벡터를 생성한다.

$p+1$ 번째 신호원이 검출된 후 $p+2$ 번째 신호 검출을 위하여 식 (3.2)를 다시 초기화시킨다.

3.3 제안한 새로운 신호원의 초기화 알고리즘

초기 $\tilde{g}_{p+1,0}$ 는 어레이 manifold 형태를 지나 식 (3.2)와 같이 여러 잡음성 신호에 의하여 계속 갱신되므로 어레이 manifold 형태에서 계속 호트러지게 된다. 호트러짐이 심한 경우 최소벡터차로 새로운 신호원의 도래 방향을 찾았다면 추정된 위치 파라미터 $\hat{k}_{p+1,l,n-1}$ 에 빈번한 오류가 발생한다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 빙패턴 형성을 이용한 초기화 방식을 제안한다.

식 (2.8)에서와 같이 새로운 신호원의 가중벡터는 아래와 같다.

$$w_{p+1,l,n} = \frac{\tilde{g}_{p+1,l,n}}{m} \quad (3.4)$$

여기서 $w_{p+1,l,n}$ 은 m 차원 벡터이며,

$\|w_{p+1,l,n}^H \tilde{g}_{p+1,l,n}\|^2 \cong 1$ 을 갖는다. 빙행성 도래방향 검출 방식은 도래방향 각 θ 를 수렴과 추적이 가능한 L 개 구간으로 나누고, 각각의 θ 에 대한 $D = [F(k_1), \dots, F(k_L)]$ 을 발생시킨 후, $\|w_{p+1,l,n}^H D_i\|^2, i=1,2,\dots,L$ 를 계산하여 최대값을 갖는 i 의 $F(k_i)$ 를 위치파라미터 $\hat{k}_{p+1,l,n-1}$ 로 초기화한다. 시스템에 적용한 어레이 안테나의 주엽폭 특성에 따라 L 구간을 결정하여 탐색

해상도를 결정한다.

연속적인 방사 에너지 성분의 검출을 수행하여 식 (3.1)의 $e_{i,l,n}$ 가 어느 준위 이하이면 존재하던 신호원이 사라진 것이므로, 확장했던 행렬의 차원을 사라진 신호원의 수만큼 축소한다.

IV. 시험환경 및 결과 분석

4.1 시험환경

어레이 수는 16개이며 어레이간 간격을 $1/(2f_{max})$ 로 두었다. 원하는 신호원은 이동 신호원으로서 도래방향이 $10^\circ - 2\cos(\pi/1000)$ 와 $-10^\circ + 2\cos(\pi/1000)$ 로 $p=2$ 이다. 초기 추정 도래방향은 각각 $15^\circ, -15^\circ$ 로 하였다. 잡음은 백색잡음이고 원하는 신호 대 잡음비는 10dB이다. 광대역 다중신호원의 주파수 성분은 1, 2, 3kHz로 하였고, 추적주파수 개수 q 는 3으로 하였다. 주파수축으로 변환을 위하여 표본블럭은 256으로 잡고, 256 포인트에 대하여 DFT를 취하였다. 추적 step size μ 는 0.01로 두었다. 새로운 신호원 검출을 위하여 식(3.2)의 $\theta_{p+1,0}$ 를 -5° 로 하였다.

4.2 시험결과

초기 도래방향 -30° 을 갖는 새로운 이동 신호원이 500회에서 도래하고 1500회에서 사라질 때의 시험 결과를 그림 3에 도시하였다. 최소벡터차를 이용한 방식은 53° 에서 초기 탐색되었으나 추정 오류로 인하여 신호원의 에너지가 감소하고, 다시 또 다른 신호원으로 검출이 반복되기 때문에 도래방향 추정이 불가능하게 된다. 제안한 방식의 시험결과는 새로운 신호원의 에너지가 524회에서 문턱값을 넘어 검출된 후 초기 도래방향이 -28.8° 로 추정되었다. 실제 신호원과 1.2° 의 추정오류가 있으나 추적 범위내에 있으므로 정상적인 빙행성 및 추적을 수행함을 보였다.

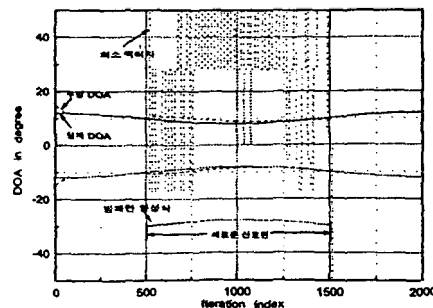


그림 3. 초기 도래방향 추정 성능 비교
Fig. 3. Performances of initial DOA estimation.

그림 3의 결과 분석을 위하여 iteration에 따른 새로운 신호원 도래방향 추정값 변화를 그림 4에 도시하였다. 500회에서는 신호원이 출현하였으므로 초기값 -5° 에서

500회에서는 신호원이 출현하였으므로 초기값 -5° 에서 최소/최대값을 가진다. 515회에서는 조향벡터의 갱신에 의하여 에너지가 증가하므로 초기 각 -5° 와 신호원의 도래방향 각 -30° 근처에서 변화하기 시작한다. 524회에서 제안한 알고리즘은 -28.8° 에서 최대값을 갖는 빔패턴을 형성하지만 기존 방식은 53° 에서 최소값을 가지므로 도래방향 추정 오차가 추적범위를 벗어나 위치탐색이 불가능함을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 어레이 센서 위치보정 알고리즘을 적용한 광대역 다중 신호원 빔형성에서 새로운 신호원의 도래방향 추정함에 있어 빔패턴 형성식을 이용하여 기존의 초기화 과정이 가지는 빈번한 추정 오류 문제 해결을 시험결과를 통하여 확인하였다. 또 탐색할 수 있는 도래방향 각, 즉 해상도를 임의로 조절하여 적용 빔형성기의 주엽폭 특성과 탐색 범위를 추적범위에 따라 일정 영역으로 나누어 가변적으로 적용할 수 있다.

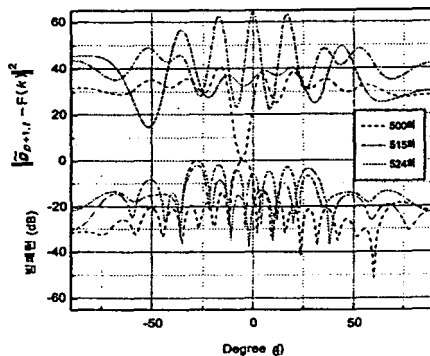


그림 4. 도래방향 추정 변화
Fig. 4. DOA estimation trajectories.

참고 문헌

1. A. M. Vural, "Effects of perturbations on the performance of optimum/adaptive arrays," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 15, pp. 76-87, Jan. 1979.
2. K. M. Ahmed and R. J. Evans, "An adaptive array processor with robustness and broadband capabilities," *IEEE Trans. on ASSP*, vol. ASSP-32, pp. 944-950, Sep. 1984.
3. Y. Rockah and P. M. Schultheiss, "Array shape calibration using source in unknown locations - Part I: Far field sources," *IEEE Trans. on ASSP*, vol. ASSP-35, pp. 256-259, March 1987.
4. S. Affes, S. Gazor, and Y. Grenier, "An algorithm for multisource beamforming and multitarget tracking," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 44, no. 6, pp. 1512-1522, June 1996.

5. S. Gazor, S. Affes and Y. Grenier, "Wideband multisource beamforming with adaptive array location calibration and direction finding," *Proc. of IEEE ICASSP'95*, vol. III, pp. 1904-1907, May 1995.
6. 심재광, 강성현, 윤원식, "다중 신호원 빔형성에서 새로운 신호원의 도래방향 추정," *KSPC'98*, vol. 11, no. 1, pp. 385-388, 1998.

▲심재광(Jackwang Shim)



1993년 2월: 아주대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1993년 1월~1995년 8월: 대영전자연구소 연구원
 1995년 9월~1997년 2월: 삼성전자 정보통신 주임연구원
 1999년 2월: 아주대학교 전파공학과 졸업(공학석사)
 1999년 1월~현재: 한국모토로라 연구소 전임연구원

▲강성현(Sung-Hyoun Kang)

1983년 2월: 서강대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1985년 2월: 서강대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
 1985년 1월~1991년 4월: 금성전기 연구소 선임연구원
 1991년 5월~현재: LG정밀 연구소 책임연구원

▲윤원식(Won-Sik Yoon)

1984년 2월: 서울대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)
 1986년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)
 1991년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)
 1986년 1월~1991년 4월: 금성전기 연구소 선임연구원
 1991년 5월~1994년 8월: LG정밀 연구소 책임연구원
 1994년 9월~현재: 아주대학교 전자공학부 부교수
 1995년 9월~1996년 8월: University of Victoria 방문교수