

논문 2014-51-10-21

독립적인 센서쌍 배열에 기반한 음원 위치추정 기법 (Source Localization Based on Independent Doublet Array)

최영두*, 이호진*, 윤경식***, 이균경**

(Young Doo Choi, Ho Jin Lee, Kyung Sik Yoon, and Kyun Kyung Lee[©])

요약

본 논문에서는 독립적인 센서쌍 배열(Doublet Array)을 이용하여 근거리 단일 음원의 방위와 거리를 추정하는 기법을 제안한다. 일반적인 방위각 추정 기법의 경우 주로 선형 배열 (Uniform Linear Array) 혹은 환형 배열 (Uniform Circular Array) 등을 이용하나 배열 구조상 근거리 음원의 거리를 추정하기 위한 개구간(Aperture)을 확보하는데 제약이 있다. 최근 독립적인 센서쌍 배열을 이용하여 넓은 개구간으로 근거리 단일 음원의 방위와 거리를 추정하는 기법이 제안되었으나 센서쌍이 직선상에 위치하는 경우로 제한되어 있다. 본 논문에서는 이를 일반화 하여 다양한 배열 구조에서도 근거리 음원의 위치를 추정하고자 한다. 제안된 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 성능을 검증하였다.

Abstract

A single near-field sound source bearing and ranging method based on a independent doublet array is proposed. In the common case of bearing estimation method, uniform linear array or uniform circular array are used. It is constrained retaining aperture because of array structure to estimate the distance of the sound source. Recent using independent doublet array sound source's bearing and distance estimation method is proposed by wide aperture. It is limited to the case doublets are located on a straight line. In this paper, we generalize the case and estimate the localization of a sound source in the various array structure. The proposed algorithm was verified performance through simulation.

Keywords: doublet array, single source localization, near-field.

I. 서론

음원의 위치추정은 소나, 레이더, 무선 통신 등 많은 분야에서 매우 중요하게 다루어지고 있으며 주로, 선배열센서(Uniform Linear Array), 평면배열센서(Uniform

Rectangular Array), 환형배열센서(Uniform Circular Array) 등의 배열센서를 이용해서 이루어진다^[1]. 음원은 배열센서와 음원과의 거리에 따라서 원거리 음원과 근거리 음원으로 나누어진다. 원거리 음원의 경우 센서에 도달한 음원신호는 평면파로 가정하므로, 음원신호의 센서간 시간지연은 방위각만의 함수로 주어진다. 그러나 근거리 음원의 경우 음원신호는 구면파로 센서배열에 도달하므로 음원신호의 각 센서간 시간지연은 거리와 입사각의 함수가 된다. 따라서 근거리 음원의 위치추정은 방위와 거리에 대한 추정을 요구한다.

대부분의 근거리 음원 위치추정 기법은 프레셀 근사화(Fresnel Approximation) 모델에 기초하며^[2] 일반적으로 여러번의 1차원 탐색 또는 다차원 탐색을 포함한다^[3~5]. 탐색기법은 비용함수(Cost Function)를 이용

* 학생회원, ** 정회원, 경북대학교 전자공학부
(Development of Electrical Engineering, Kyungpook National University)

*** 정회원, 김천대학교 언어치료학과
(Development of Speech Therapy, Gimcheon University)

[©] Corresponding Author(E-mail: kkleee@ee.knu.ac.kr)

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었으며, 이에 대해 깊이 감사를 드립니다.(계약번호 UD130007DD)

접수일자: 2014년07월07일, 수정일자: 2014년08월19일
게재확정: 2014년09월26일

하여 방위, 거리 등의 파라미터를 추정하는 것으로 추정 파라미터 개수에 따라 차원이 구분되며 연산량이 기하급수적으로 늘어나는 단점이 있다.

최근 근거리 단일 음원에 한하여 독립적인 센서쌍을 이용하여 음원의 위치를 추정하는 기법^[6]이 제안되었다. 제안된 기법은 음원이 각 센서쌍에서 보이는 원거리 음원의 특성과 센서쌍 사이에 보이는 근거리 특성을 함께 이용하여 표적의 위치를 추정하였다. 일반적으로 근거리 음원 위치 추정에 있어 방위각 추정에 비해 거리 추정 오차가 크다고 알려져 있으며^[7], 배열의 개구간이 클수록 거리 추정오차를 줄일 수 있다. 제안된 기법은 독립적인 센서쌍을 이용하므로 기존의 센서배열을 이용할 때 보다 센서쌍 간격 조절로 개구간 확보가 용이하다. 하지만 제안 기법의 경우 독립된 센서쌍이 선형으로 배치된 경우만 고려하고 있으며 복잡한 지형이나 해양환경과 같이 변화가 심한 환경에서는 센서쌍의 직선 배열을 보장하기가 어렵다.

따라서 본 논문에서는 기존 기법을 일반화하여 선형 배열이 아닌 다양한 센서 배열에서도 근거리 단일 음원의 위치를 추정하는 기법을 제안한다. 또한 제안 기법은 기존 기법에서 방위 추정에 있어 연산을 많이 필요로 하는 고유치 분해(Eigen-decomposition) 대신 상호 상관기법(Cross Correlation)을 적용하였다.

II. 본 론

1. 배열 모델

그림 1은 임의의 위치에 존재하는 $2N+1$ 개의 센서쌍으로 구성된 센서쌍배열 나타낸다. 각 센서쌍은 (A_i, B_i) 두 개의 센서로 이루어져 있다. 기준센서는 A_0

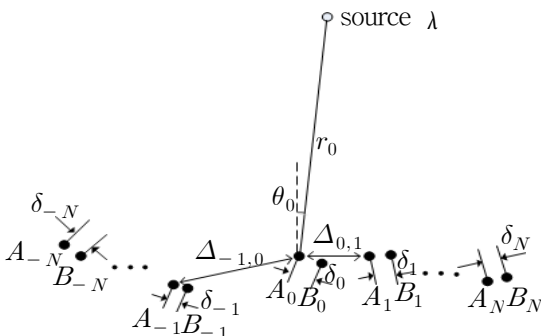


그림 1. 배열 구조
Fig. 1. Array geometry

로 음원의 방위 θ_0 와 거리 r_0 는 A_0 로부터 정의한다.

여기서 θ_i 는 각 센서쌍의 A_i 로부터 음원의 방위, δ_i 는 센서쌍내 A_i 와 B_i 사이의 거리, $\Delta_{i,j}$ 는 i 번째 센서쌍과 j 번째 센서쌍 사이의 거리이다. 여기서 $i, j = -N, \dots, 0, \dots, N$ 의 값을 가지며 λ 는 음원의 파장이다. 이때 A_i 와 B_i 사이의 거리는 방위 추정에 모호성을 피하기 위해 $\delta_i < \lambda/2$ 를 만족해야 하며 각 센서쌍에서 보이는 원거리 음원의 특성과 센서쌍 사이에 보이는 근거리 특성을 함께 이용하기 위해 식 (1)을 만족해야 한다.

$$\begin{aligned} r_0 &\gg (2\delta^2/\lambda) \\ r_0 &\leq (2\Delta^2/\lambda) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서

$$\begin{aligned} \delta &= \max(\delta_{-N}, \dots, \delta_{-1}, \delta_0, \delta_1, \dots, \delta_N), \\ \Delta &= \min(\Delta_{-N, -N+1}, \dots, \Delta_{-1, 0}, \Delta_{0, 1}, \dots, \Delta_{N-1, N}) \end{aligned}$$

이다. 이때 센서 기준점 A_0 를 기준으로 각 센서에 수신되는 신호는 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} x_{A_i}(m) &= e^{j\tau_{A_i}} s(m) + w_{A_i}(m) \\ x_{B_i}(m) &= e^{j\tau_{B_i}} s(m) + w_{B_i}(m) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $s(m)$ 은 음원, $w_{A_i}(m), w_{B_i}(m)$ 는 A_i, B_i 센서의 백색잡음이다. $m = 1, \dots, M$ 의 값을 가진다. τ_{A_i} 와 τ_{B_i} 는 A_0 부터 A_i, B_i 센서 사이의 시간지연으로 식 (3)으로 나타낸다.

$$\begin{aligned} \tau_{A_i} &= \frac{2\pi}{\lambda} \left(\sqrt{r_0^2 - 2r_0(x_{A_i} \sin\theta_i + y_{A_i} \cos\theta_i) + x_{A_i}^2 + y_{A_i}^2} - r_0 \right) \\ \tau_{B_i} &= \frac{2\pi}{\lambda} \left(\sqrt{r_0^2 - 2r_0(x_{B_i} \sin\theta_i + y_{B_i} \cos\theta_i) + x_{B_i}^2 + y_{B_i}^2} - r_0 \right) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 x_{A_i}, y_{A_i} 는 A_i 센서의 x, y 좌표 x_{B_i}, y_{B_i} 는 B_i 센서의 x, y 좌표다.

2. 제안 기법

제안 기법은 각 센서쌍에서 원거리 음원 모델 가정에 의해 음원의 방위를 추정하고, 추정된 음원의 방위와 센서쌍 사이의 근거리 음원 모델 가정을 이용하여 거리

를 추정한다.

가. 원거리 음원 모델을 이용한 방위 추정

음원의 방위 추정에는 고유치 분해를 이용한 subspace 기법이 주로 사용되나 고유치 분해에 많은 연산량을 필요로 한다. 반면 본 논문에서와 같이 단일 음원을 가정할 경우 센서 간 상호상관을 이용하여 보다 적은 연산으로 방위를 추정할 수 있다.

상호상관함수 R_i 를 식 (4)로 정의한다.

$$R_i = E\{x_{A_i}(m)x_{B_i}^*(m)\} = \sigma_s^2 e^{-j\frac{2\pi\delta_i}{\lambda}\sin\theta_i} + \sigma_n^2 \quad (4)$$

노이즈(σ_n)가 작다고 가정하면 식 (4)로부터 음원의 방위 θ_i 는 식 (5)로 주어진다.

$$\hat{\theta}_i = -\sin^{-1}(\arg(R_i)\lambda/2\pi\delta_i) \quad (5)$$

각 센서쌍이 그림 2와 같이 x 축과 평행하지 않는 경우, x 축으로 부터의 방위를 구하기 위해 식 (6)의 $\bar{\theta}_i$ 를 이용하여 축이 기울어진 정도를 보상하면 음원의 방위 $\hat{\theta}_i$ 는 식 (7)과 같다.

$$\bar{\theta}_i = \tan^{-1}\left(\frac{y_{B_i} - y_{A_i}}{x_{B_i} - x_{A_i}}\right) \quad (6)$$

$$\hat{\theta}_i = \hat{\theta}_{i-1} - \bar{\theta}_i \quad (7)$$

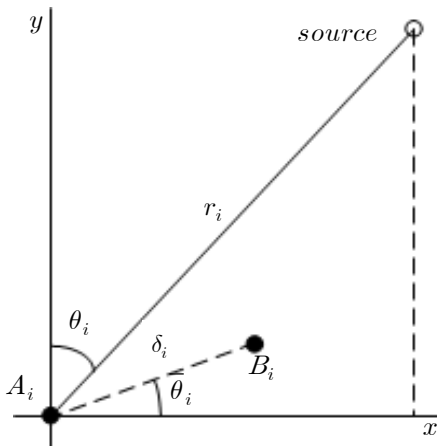


그림 2. 센서쌍의 기울기
Fig. 2. Slope of doublet.

나. 근거리 음원 모델을 이용한 거리 추정

음원의 거리추정은 각 센서쌍에서 추정된 표적의 방위와 근거리 음원 모델을 이용한다. 기준센서를 기준으로 좌측과 우측의 경우에 대해 음원의 거리 r_0 는 다음과 같이 각각 정리된다.

(1) 기준센서 좌측의 센서쌍배열의 경우

그림 3은 기준센서의 방위 θ_0 와 이를 기준으로 좌측에 위치한 센서쌍에서 방위 θ_i 가 주어진 경우를 나타낸다.

이 경우 음원의 거리 r_0 는 $D_{0,i}$, $\theta'_{0,i}$, θ_0 그리고 θ_i 와 식 (8)과 같은 관계를 가진다.

$$r_0 \sin(\theta_i - \theta_0) = D_{0,i} \cos(\theta'_{0,i} + \theta_i) \quad (8)$$

$$\therefore r_0 \sec(\theta'_{0,i} + \theta_i) = D_{0,i} \csc(\theta_i - \theta_0)$$

여기서 $i = -N, -N+1, \dots, -1$, $D_{0,i}$ 은 A_0 센서에서 A_i 센서까지 거리($\overline{A_0 A_i}$), $\theta'_{0,i}$ 은 $D_{0,i}$ 와 x 축이 이루는 각을 나타낸다. r_0 는 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{T}_L r_0 = \mathbf{b}_L \quad (9)$$

여기서 $\mathbf{T}_L \equiv [\sec(\theta'_{0,-N} + \theta_{-N}), \dots, \sec(\theta'_{0,-1} + \theta_{-1})]^T$, $\mathbf{b}_L \equiv [D_{0,-N} \csc(\theta_0 - \theta_{-N}), \dots, D_{0,-1} \csc(\theta_0 - \theta_{-1})]^T$ 이다.

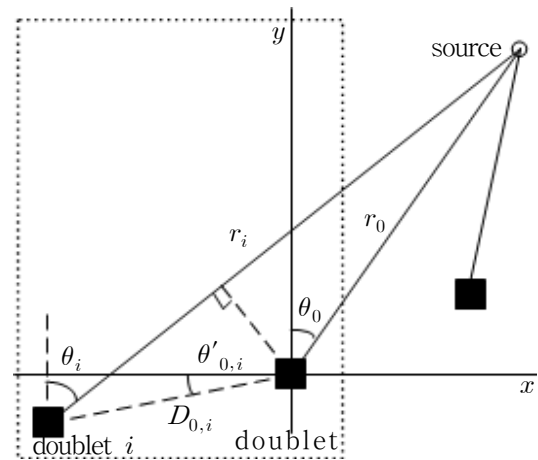


그림 3. 기준센서 좌측의 센서쌍 배열
Fig. 3. The left doublet array of refer sensor.

(2) 기준센서 우측의 센서쌍배열의 경우

그림 4는 기준센서의 방위 θ_0 와 이를 기준으로 우측에 위치한 센서쌍에서 방위 θ_i 가 주어진 경우를 나타낸다.

이 경우 음원의 거리 r_0 는 $D_{0,i}$, $\theta'_{0,i}$, θ_0 그리고 θ_i 와 식 (10)과 같은 관계를 가진다.

$$\begin{aligned} r_0 \sin(\theta_0 - \theta_i) &= D_{0,i} \cos(\theta'_{0,i} + \theta_i) \\ \therefore r_0 \sec(\theta'_{0,i} + \theta_i) &= D_{0,i} \csc(\theta_0 - \theta_i) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서 $i = 1, 2, \dots, N$ 이다. r_0 는 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{T}_R r_0 = \mathbf{b}_R \quad (11)$$

여기서

$$\begin{aligned} \mathbf{T}_R &\equiv [\sec(\theta'_{0,1} + \theta_1), \dots, \sec(\theta'_{0,N} + \theta_N)]^T, \\ \mathbf{b}_R &\equiv [D_{0,1} \csc(\theta_0 - \theta_1), \dots, D_{0,N} \csc(\theta_0 - \theta_N)]^T \end{aligned}$$

이다. 따라서 음원의 거리 r_0 는 식 (9)와 식 (11)으로부터 다음의 LS (least square) 식 (12)로 얻는다.

$$\begin{aligned} \hat{r}_0 &= \mathbf{T}^\dagger \mathbf{b} \quad (12) \\ \mathbf{T} &= \begin{bmatrix} \mathbf{T}_L \\ \mathbf{T}_R \end{bmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_L \\ \mathbf{b}_R \end{bmatrix} \end{aligned}$$

여기서 $(\cdot)^\dagger$ 는 Moore-Penrose pseudo inverse를 의미한다. 식 (12)에서 \mathbf{T} 행렬과 \mathbf{b} 벡터 모두 잡음을 포함하므로 TLS(total least square) 식 (13) 또한 적용 가능하다.

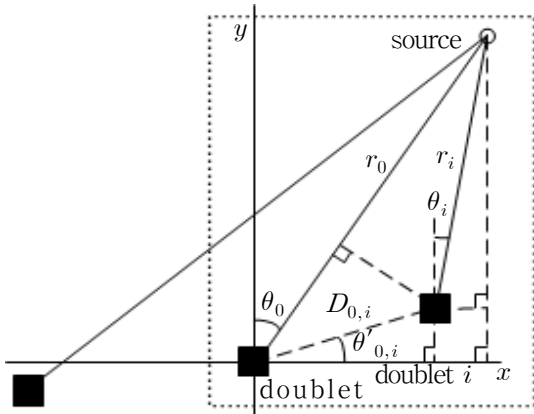


그림 4. 기준센서 우측의 센서쌍 배열
Fig. 4. The right doublet array of refer sensor.

$$\hat{r}_0 = -\mathbf{V}_{12} \mathbf{V}_{22}^{-1} \quad (13)$$

여기서 \mathbf{V}_{12} , \mathbf{V}_{22} 는 특이값 분해(singular value decomposition)에서 \mathbf{V} (right-singular vectors)의 부분 행렬로 식 (14)로 주어진다.

$$\begin{aligned} [\mathbf{T} \mathbf{b}] &= \mathbf{U} \mathbf{\Sigma} \mathbf{V}^T \quad (14) \\ \mathbf{V} &= \begin{bmatrix} \mathbf{V}_{11} & \mathbf{V}_{12} \\ \mathbf{V}_{21} & \mathbf{V}_{22} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

제안한 기법의 경우 \mathbf{V} 는 2×2 크기의 행렬로 $\mathbf{V}_{i,j}$ 는 각각 1×1 크기를 가진다.

제안한 기법을 수행하는데 필요한 연산량은 기존 기법, 2-D MUSIC 기법과 함께 표 1에 정리하였으며 제안한 기법의 경우 (LS) 가장 작은 연산을 필요로 한다.

표 1. 연산량 비교

Table 1. Comparison of computaion.

	필요 연산	Correlation + LS
Proposed (LS)	필요 연산	$(2N+1)M$ multiplication and $(2N+1)(M-1)$ addition for correlation, $O(2N+1)$ for LS
	연산량	
Proposed (TLS)	필요 연산	Correlation + TLS
	연산량	$(2N+1)M$ multiplication and $(2N+1)(M-1)$ addition for correlation, $O((2N+1)^2)$ for SVD in TLS
previous method in [6]	필요 연산	EVD + LS
	연산량	$(2N+1)M$ multiplication and $(2N+1)^2(M-1)$ addition for covariance matrix calculation and $O((2N+1)^2)$ for EVD and $O(2N+1)$ for LS
2-D MUSIC	필요 연산	EVD + 2D-Search
	연산량	$(2N+1)M$ multiplication and $(2N+1)^2(M-1)$ addition for covariance matrix calculation and $O((2N+1)^2)$ for EVD and 2D-Search

III. 모의 실험

제안한 기법의 성능을 확인하기 위하여 모의실험을 수행하여 기존에 제안된 기법^[6], 2-D MUSIC 기법과 비교하였다. 제안 기법의 경우 다양한 센서쌍 배치에 적용가능하나 기존 기법과의 비교를 위해 선형배열에서

A_i 와 B_i 사이의 거리 $\delta_i = 0.5\lambda$, 센서쌍 사이 거리 $\Delta_{i,j} = 10\lambda$ 를 가정하였다. 센서쌍의 개수 $N=5$, 수신된 데이터의 수 $M=256$ 이다. MUSIC 기법의 경우 $\delta = 0.5\lambda$, 센서의 개수는 10개로 제안기법과 동일하며 탐색 간격은 $\theta = 0.025^\circ$, $r = 0.1\lambda$ 를 적용하였다.

2-D MUSIC 기법의 경우 총 센서 수는 같지만 기법 적용을위한 센서 배열 구조 차이가 있기 때문에 그림 5~그림 9에서 차이가 나타난다. 그림에서 x 축이 거리인 경우와 y 축이 RMSE(dimensionless)인 경우, λ 의 값으로 정규화 되었다. 실험결과는 θ_0 와 r 의 추정성능을 각각 보기 위한 극좌표계(polar coordinate)와 추정

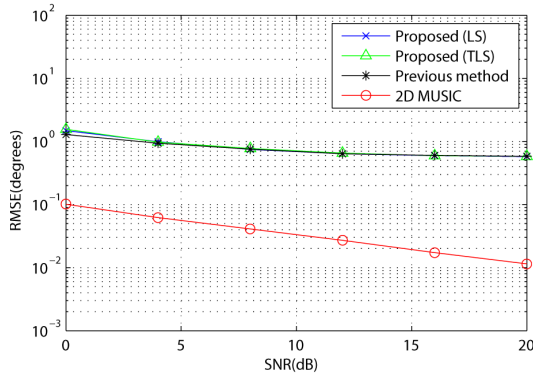


그림 5. SNR에 따른 방위 추정 성능
Fig. 5. RMSEs versus SNR of bearing estimation.

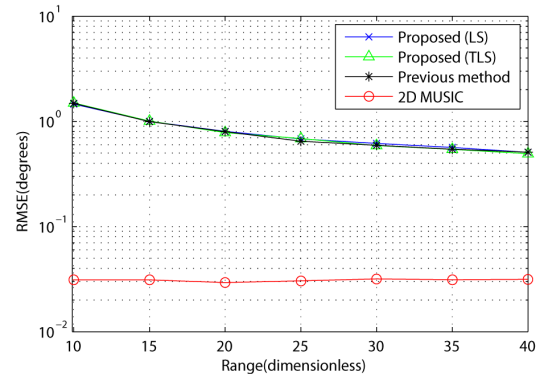


그림 8. 거리에 따른 방위 추정 성능
Fig. 8. RMSEs versus range of bearing estimation.

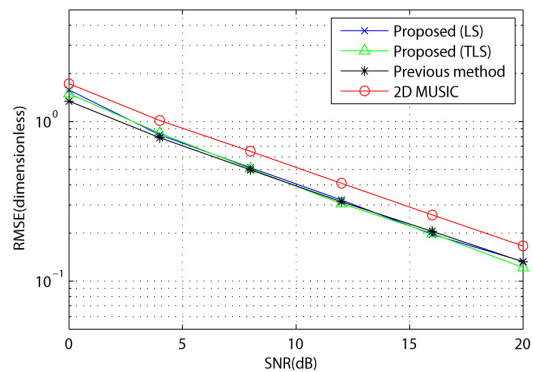


그림 6. SNR에 따른 거리 추정 성능
Fig. 6. RMSEs versus SNR of range estimation.

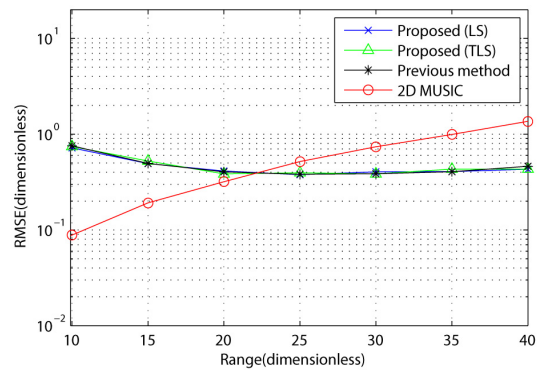


그림 9. 거리에 따른 거리 추정 성능
Fig. 9. RMSEs versus range of range estimation.

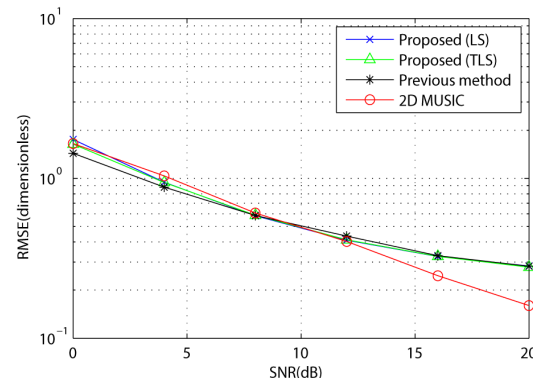


그림 7. SNR에 따른 위치 추정 성능(직교 좌표계)
Fig. 7. RMSEs versus SNR of position estimation (rectangular coordinate).

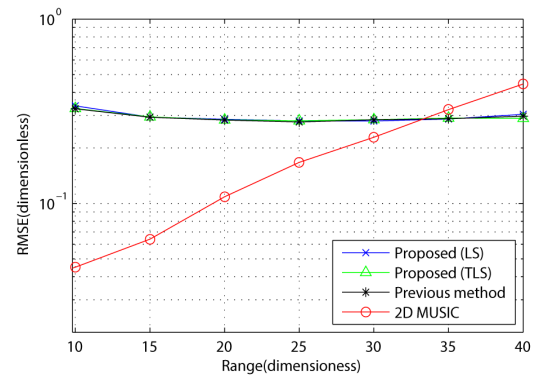


그림 10. 거리에 따른 위치 추정 성능(직교좌표계)
Fig. 10. RMSEs versus range of position estimation (rectangular coordinate).

성능을 함께 보기 위한 직각좌표계(rectangular coordinate), 두 가지로 나타내었다.

그림 5와 그림 6은 음원의 거리가 25λ일 때 SNR에 따른 방위 추정과 거리 추정 성능을 나타낸다. 2-D MUSIC 기법의 경우 많은 연산량을 필요로 하고 전체 센서를 이용하는 반면 제안 기법의 경우 단 2개의 센서로 θ_0 를 추정하므로 SNR에 상관없이 방위추정 성능이 떨어짐을 확인할 수 있다. 하지만 그림 6의 거리 추정에서는 제안 기법이 넓은 개구간을 활용함으로써 좁은 개구간을 가지는 2-D MUSIC 기법에 비해 나은 성능을 보인다. 그림 7의 직교좌표계에서 볼때 SNR이 증가될수록 2-D MUSIC의 오차 감소율이 더 크지만 SNR이 비교적 낮은 경우에는 거의 동일한 성능을 보여준다. 기존 기법과 비교하면 제안 기법은 방위 추정에 적은 연산을 이용함에도 성능차이가 거의 보이지 않으며 제안기법에서 TLS와 LS를 비교하면 TLS 적용때 약간의 성능향상을 보이지만 그 차이는 미미하였다.

그림 8과 그림 9는 SNR=20dB일 때 거리에 따른 방위와 거리 추정 오차를 나타낸다. 그림 8에서 거리가 멀어질수록 방위 추정에 원거리 모델을 가정하는 제안

기법의 성능이 좋아짐을 보이지만 앞서와 마찬가지로 2-D MUSIC 기법보다는 방위 추정성능이 떨어진 다. 하지만 그림 9의 거리 추정에서는 넓은 개구간을 사용하는 제안기법이 음원의 거리가 멀어질수록 이점을 보인다. 그림 10의 직교 좌표계에서도 그림 9와 비슷한 양상으로 제안 기법은 원거리 음원의 탐지에 이점을 보인다.

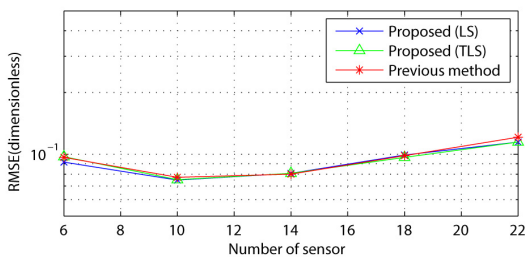
그림 11은 센서의 수 증가에 따른 거리 추정 성능을 나타내었다. 실험에서 센서쌍 사이의 거리는 10λ로 고정하였다. 따라서 센서수가 증가함에 따라 총 개구간도 증가한다. 실험 결과 음원의 거리가 40λ인 그림 9(b)에서는 센서수가 증가할수록 성능이 향상되지만 음원의 거리가 20λ인 그림 9(a)에서는 센서가 10개일 때 가장 좋은 성능을 보여 주었다. 이는 음원의 거리의 거리가 개구간에 비해 너무 멀거나 가까운 경우 불량조건화(ill conditioned)되기 때문이다. 따라서 최상의 위치 추정 성능을 위해서는 목표로 하는 음원의 위치에 따라 적절한 개구간을 설정하여야 한다.

IV. 결 론

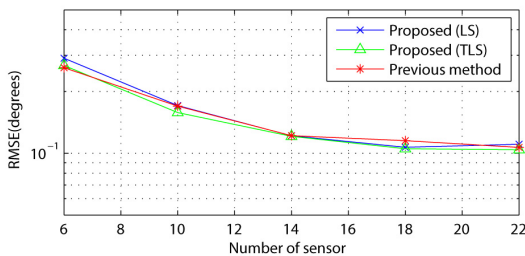
독립적인 센서쌍 배열을 이용하여 근거리 단일 음원의 방위와 거리를 추정하는 기법을 제안하였다. 제안 기법은 선형 배열이 아닌 다양한 센서 배열에서도 근거리 단일 음원의 위치를 추정할 수 있으며, 방위 추정에 있어 상호상관기법을 이용하여 적은 연산을 필요로 한다. 모의실험 결과 제안 기법은 넓은 개구간으로 인해 2-D MUSIC 기법과 비교하여 음원의 거리가 멀어질수록 성능상의 우위를 보인다.

REFERENCES

- [1] Krim, Hamid, and Mats Viberg. "Two decades of array signal processing research: the parametric approach." *Signal Processing Magazine, IEEE* 13.4, pp.67-94, 1996.
- [2] Swindlehurst, A. L., and T. Kailath. "Passive direction-of-arrival and range estimation for near-field sources." *Spectrum Estimation and Modeling, 1988., Fourth Annual ASSP Workshop on.* IEEE, 1988.
- [3] Lee, J. H., et al. "Algebraic path-following algorithm for localising 3-D near-field sources



(a)



(b)

그림 11. 센서 수에 따른 거리 추정 성능
(a) 음원거리: 20λ (b) 음원거리: 40λ

Fig. 11. RMSEs versus the number of sensors of range estimation.
(a) range of source: 20λ (b) range of source: 40λ

in uniform circular array.” *Electronics Letters* 39.17, pp.1283-1285, 2003.

[4] Zhi, Wanjun, and MY-W. Chia. “Near-field source localization via symmetric subarrays.” *Acoustics, Speech and Signal Processing, 2007. ICASSP 2007. IEEE International Conference on*. Vol. 2. IEEE, 2007.

[5] Liang, Junli, and Ding Liu. “Passive localization of near-field sources using cumulant.” *Sensors Journal*, IEEE 9.8, pp.953-960, 2009.

[6] Jiang, J. C., P. Wei, and L. Gan. “Source location based on independent doublet array.” *Electronics Letters* 49.14, pp.907-908, 2

[7] Hsu, Yu-Sheng, Kainam Thomas Wong, and Lina Yeh. “Mismatch of near-field bearing-range spatial geometry in source-localization by a uniform linear array.” *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on* 59.10, pp.3658-3667, 2011.

— 저 자 소 개 —



최 영 두(학생회원)
 2003년 해군사관학교 해양학과
 학사
 2013년 경북대학교 전자전기
 컴퓨터학부 석사
 2013년~현재 경북대학교
 전자공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 표적 추적 및 추정, 수중음향신호
 처리, 배열센서 신호처리>



이 호 진(학생회원)
 2010년 경북대학교 전자전기
 컴퓨터학부 학사 졸업.
 2012년 경북대학교 전자전기
 컴퓨터학부 석사 졸업.
 2012년~현재 경북대학교
 전자공학과 박사과정.

<주관심분야 : 배열신호처리, 수중음향 신호처
 리>



윤 경 식(정회원)
 1987년 경북대학교 전자공학 학사
 1989년 경북대학교 전자공학 석사
 2002년 경북대학교 전자공학 박사
 1995년~현재 김천대학교 교수.
 <주관심분야 : 수중음향신호처리,
 음성신호처리>

이 균 경(정회원) -교신저자
 대한전자공학회 논문지
 제 32권 B편 제 14호 참조