

# 3점에 의한 음원의 거리와 도래각 추정법

## The Method for Localization of Sound Source by Using 3 Point-Dectors

이 채봉\*, 차 경환\*, Kimio SASAKI\*\*

\*동서대학교 전자기계공학부, \*\*Tsukuba University

### 요 약

Near field에서는 진폭 감쇄정보를 이용할 수 있으므로 음원의 거리와 도래각을 추정하는 것이 가능하다. 고정된 3개의 수음점에서 자기, 상관 파워스펙트럼 분석을 하여 추정하는 원리와 추정치의 분포영역, 음원의 정위한계에 대하여 나타내었다.

### I. 서론

음향신호의 정확한 계측과 음원위치 탐사 등에 관한 연구는 음장의 제어, 음향신호를 이용한 기계, 로봇의 환경인식 및 복수 화자의 음성 분리 등 여러분야에서 그 활용이 기대되고 있다. 음원위치 추정법으로는 직선배열 센서 어레이를 이용한 음원의 도래방향 추정법 등이 있으나 대부분 far field를 대상으로 하기 때문에 이용 가능한 정보는 음파의 전달에 따르는 상대적인 시간차이므로 음원의 도래각만 추정할 수 있다. 이것에 비해 near field에서는 시간차 뿐만아니라 진폭감쇄의 정보도 이용할 수 있기 때문에 도래각과 거리를 동시에 추정하는 것이 가능하다.

본 연구에서는 near field에서 3점에 의한 음원의 거리 및 도래각을 추정하는 원리 및 추정치의 분포영역 등의 결과를 보고한다.

### II. 위치추정의 원리

그림 1에서는 점음원 P와 수음점을 나타내고 있다. P에서 방사된 신호를 X-Y평면 상에 원점을 중심으로 하는 정삼각형의 각점에 배치된 3개의 수음점에서 수신한다. 3개의 수신신호에

서 하나의 신호를 공유하는 2개의 신호의 스펙트럼해석을 근거로 하여 음원 P의 극좌표  $(r_0, \varphi, \theta)$ 를 추정한다. 각 수신점에 있어서 관측신호는 식(1)과 같다.

$$x_i(t) = r_i^{-1}s(t - D_i) + n_i(t) \quad (1)$$

여기서  $s(t)$ 는 음원신호,  $n(t)$ 는 잡음이며  $r_i$ 와  $D_i$ 는 각각의 음원과 수신점과의 거리 및 전달지연시간을 나타낸다. 식(1)에서  $x_i(t)$ 의 자기 및 상관 파워스펙트럼은 각각 다음과 같다.

$$\Phi_{x_i x_i}(f) = r_i^{-2}\Phi_{ss}(f) + \Phi_{n_i n_i}(f) \quad (2)$$

$$\Phi_{x_i x_j}(f) = (r_i r_j)^{-1}\Phi_{ss}(f) \exp(-j2\pi f(D_i - D_j))$$

공유하는 수신신호를 Y축상에 있는 점으로 하면 이 수신신호와 음원사이의 거리추정은 중복되나 이것은 산술평균으로 한다. 전달 거리차  $r_a$ 는  $\Phi_{x_i x_j}(f)$ 의 추정치의 위상을 이용하면

다음식으로 추정이 된다.

$$\hat{r}_d = \hat{r}_3 - \hat{r}_1 = \frac{c_0}{2\pi f} \tan^{-1} \left\{ \frac{\text{Im}[\hat{\Phi}_{x_3 x_1}(f)]}{\text{Re}[\hat{\Phi}_{x_3 x_1}(f)]} \right\} \quad (3)$$

여기서  $c_0$ 는 음의 속도이다.

진폭 감쇄정보  $B$ 는 각 수신신호의 자기 파워스펙트럼의 차를 상호 파워스펙트럼의 절대치로 규격화한 아래의 식으로 하였다.

$$\hat{B}_i(f) = \frac{\hat{\Phi}_{x_1 x_1}(f) - \hat{\Phi}_{x_3 x_3}(f)}{|\hat{\Phi}_{x_3 x_1}(f)|} = \frac{\hat{r}_3^2 - \hat{r}_1^2}{\hat{r}_3 \hat{r}_1} \quad (4)$$

또, 그림 1에 나타낸 기하학적 관계는 아래와 같다.

$$\begin{aligned} r_1^2 + r_2^2 &= 2r_0^2 + \frac{4\sqrt{3}}{3} r_0 d \sin \theta \sin \phi + \frac{8}{3} d^2 \\ r_1^2 - r_2^2 &= 4r_0 d \sin \theta \cos \phi \\ r_1^2 + r_2^2 + r_3^2 &= 3r_0^2 + 4d^2 \end{aligned} \quad (5)$$

식(2), (3), (4)에서 구한 추정치  $\hat{r}_0, \hat{\varphi}, \hat{\theta}$ 는 다음식과 같다.

$$\hat{r}_0 = \frac{1}{3} \left\{ \frac{\hat{r}_d^2 I_1}{\hat{B}_1^2} + \frac{\hat{r}_d^2 I_2}{\hat{B}_2^2} - \hat{r}_3^2 - 4d^2 \right\}^{1/2}$$

$$\hat{\varphi} = \tan^{-1} \left\{ \frac{\sqrt{3} J_1 J_2}{\hat{r}_d \hat{B}_1 I_1 - \hat{B}_2 I_2} (\hat{r}_0^2 + \frac{4}{3} d^2 - \hat{r}_3^2) \right\}$$

$$\hat{\theta} = \sin^{-1} \left[ \frac{1}{4\hat{r}_0 d} \left\{ 3(\hat{r}_0^2 + \frac{4}{3} d^2 - \hat{r}_3^2)^2 + \left( \frac{\hat{r}_d^2 \hat{B}_1 I_2 - \hat{r}_d^2 \hat{B}_2 I_1}{\hat{B}_1 \hat{B}_2} \right)^2 \right\} \right]^{1/2}$$

$$I_i \equiv \sqrt{B_i^2 + 4} \quad (6)$$

$$J_i \equiv B_i^2 + 2I_i$$

이상이 단일 주파수  $f$ 에 의해 3점 수신으로 위치추정을 하는 기본원리이다.

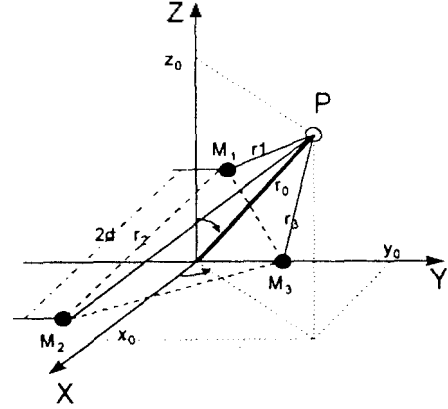


그림 1. 음원과 수음점

### III. 수치해석결과

식(3), (6)의 추정치들 잡값의 주위에 전개하여 선형근사하면 추정치의 분산·공분산이 용이하게 구하여진다.

계산을 쉽게 하기위해 극좌표의 추정치  $(r_0, \varphi, \theta)$ 의 분포영역을 직각좌표  $(x, y, z)$ 로 나타낸다. 극좌표계의 공분산 행렬을  $A_e$ , 직각좌표계의 공분산 행렬을  $A_c$ 라고 하면 이것의 관계는 다음과 같다.

$$\Lambda_e = H^T \Lambda_c H$$

$$H \equiv \begin{bmatrix} \sin \theta \cos \phi & r_0 \cos \theta \cos \phi & -r_0 \sin \theta \sin \phi \\ \sin \theta \sin \phi & r_0 \cos \theta \sin \phi & r_0 \sin \theta \cos \phi \\ \cos \theta & -r_0 \sin \theta & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

오차스펙트럼을  $A_e = [\hat{x} - x_0, \hat{y} - y_0, \hat{z} - z_0]^T$ 라고 하면 확률밀도 함수는

$$\begin{aligned} P_e(\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}) &= \\ &= (2\pi)^{3/2} |\Lambda_d|^{-1/2} \exp \left\{ -\frac{1}{2} A_e^T \Lambda_e^{-1} A_e \right\} \end{aligned} \quad (8)$$

으로 주어진다. 정규분포의 성질에서 3차원 직각좌표의 추정치가 양의 정수  $Q$ 에 대하여

$$A_e^T \Lambda_e^{-1} A_e = Q \quad (9)$$

로 주어지는데, 집중 타원체의 내부에 있는 확률은

$$P = 2 \int_0^{\sqrt{Q}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} dx - \frac{2\sqrt{Q}}{\sqrt{2\pi}} e^{-Q/2} \quad (10)$$

이 된다.

그리고, 공분산 행렬  $A_s$ 의 평가식을 이용하여 어떤  $Q$ 값의 집중타원체를 그리면 타원체는  $Q$ 에 대응하는 확률로 음원이 분포하는 영역을 나타내는 것이 된다.

본 해석에서 방위  $\phi$ 를  $0 \sim 90^\circ$ 의 범위에 걸쳐서  $15^\circ$ 로, 동시에  $\theta$ 에 대해서도  $15 \sim 75^\circ$ 의 범위로 변화시켜 보았다. 그림 2는 음원까지의 거리  $r_0=1.0$ [m]이고 수음점 간격을  $2d=1.0$ [m], 주파수  $f=1$ [kHz], SNR=30[dB]의 경우에 추정치의 확률을 나타낸 집중타원체이다. 보다 간단히 추정치의 분포영역을 평가하기 위해 집중타원체의 장축의 길이를 스칼라 좌표로 표시하여 일정 범위내에 있는 영역을 표시한 음원 정위 가능영역을 그림 3에 나타내었다.

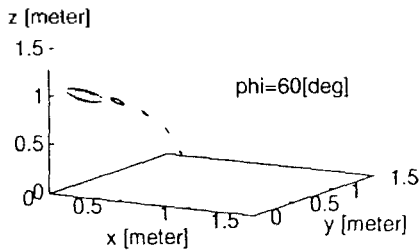


그림 2. 추정치의 분포영역

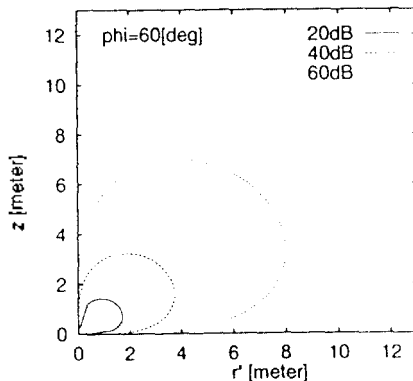


그림 3. 음원 정위 가능영역

## IV. 결론

고정된 3점을 이용한 위치 추정법의 유효성과 특성을 명확히 하기위해 이론·수치해석을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 잡음이 존재하는 일반 음장에서 관측 시계열의 파워스펙트럼의 정보를 이용하여 전달거리차와 진폭감쇄 정보를 추출하여 음원의 위치 추정을 하였다.

(2) 추정법에 관하여 음원좌표의 추정치의 공분산 행렬에서 구한 확률 집중타원체의 장축을 지표로 하고 간단히 추정의 특성을 평가하는 수법을 나타내었다. 이것에 의해 최종적인 추정 시기 파라메타의 변화에 의해 어떠한 영향을 받는가를 나타내었다.

## 참고문헌

1. 森下 巖, 小畑 秀文, 信號處理, 計測自動制御學會, コロナ社, 1994.
2. K. SASAKI, "檢出器の付加回轉を伴う兩耳聴取法による近方場定常不規則音原の3次元位置推定," SICE '93, 304 M-2, pp.665-666, 1993.
3. 平澤 建, "兩耳聴取法による近方場音原の距離と方位の同時推定," 筑波大學 碩士學位論文, 1993.
4. 岡田 修一, 佐藤 史尚, 森田 龍彌, "3-Microphone係による3次元音原位置と音響分離," 制御學會論文集, Vol.6, No.3, pp.149-155, 1993.