

소형 인텐시티 어레이를 이용한 음원 위치 추정

Source localization by using compact intensity array

조성규* · 이정권†

Sung -Kyu Cho, Jeong-Guon Ih

1. 서 론

어레이를 이용한 대표적 음원 위치 추정 기법에는 빔 형성의 이방성을 이용하는 빔포밍 기법과 시간 지연을 이용하는 시간 지연 방법이 있다⁽¹⁾. 기존의 기법들은 다수의 마이크로폰으로 구성된 다소 큰 어레이를 통해서 잡음의 요소를 극복하고 음원의 위치를 추정 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 음원 위치 추정의 실질적 응용을 확대하기 위해서는 어레이의 소형화를 달성해야 하는데 소형 어레이를 이용할 경우, 빔포밍 기법에서는 주엽의 모호성에 의해 위치 추정의 정확도가 악화 되며⁽²⁾, 시간 지연 기법에서는 샘플링 주파수가 작거나, 음원의 주파수 대역폭이 좁을 경우 추정 오차가 극대화 된다는 제한점을 지니고 있다⁽³⁾. 이와 같은 제한점을 극복하기 위해 본 연구에서는 어레이 소형화와 함께 협소 대역 음원의 정밀 위치 추정이 가능한 음향 인텐시티 기법을 제안하였고 가상실험을 통해서 소형 인텐시티 어레이의 타당성을 보였다.

2. 위치 추정기법과 소형 어레이

2.1 빔포밍 기법

지연-합 빔 형성 기법은 가장 대표적인 빔포밍 알고리즘으로서 위상 보정을 통해 실제 음원이 후보 음원 위치에 있을 경우 빔 출력을 최대화 하여 음원의 방향을 탐색하는 것으로 알려져 있다. 능동 음장에서의 위치 추정을 목적으로 원 거리 음장에 평면파 가정을 사용하게 되면, 주엽의 모호성을 방지해 빔 형성 기법의 유효한 적용을 위해 일반적으로 알려진 어레이 사이즈의 제한은 다음과 같다⁽⁴⁾:

$$D > \lambda \quad (1)$$

여기서 D 는 어레이의 전체 사이즈를 의미하고 λ

는 관심 음파의 파장 길이이다. 이와 같은 어레이 제한 조건이 만족되지 않으면 측정과정에서 잡음이 전혀 없는 이상적인 상황을 제외하고는 방향 추정의 오차를 극대화 할 수 있는 우려가 있다.

2.2 시간 지연 기법

시간 지연 기법 중 대표적인 알고리즘은 상관 함수의 국소 최대 값이 발생하는 지점으로부터 센서 간 시간 지연을 측정해 내는 GCC(Generalized Cross Correlation) 방법이다. 이 방법의 대표적인 영향 변수로는 음원의 주파수 대역폭과 측정의 샘플링 주파수 이다⁽²⁾. 대역폭이 커질수록 상관 관계 함수에서 실제 물리적 시간 지연과 관련된 국소 최대 값을 명확하게 밝혀 낼 수 있으며, 높은 샘플링 주파수를 사용할 경우 시간 지연 측정의 분해능이 작아져 보다 정밀하게 시간 지연을 측정할 수 있게 된다. 하지만 어레이를 구성하는 센서간 간격이 줄어들 수록 정밀 측정을 위해 요구되는 샘플링 주파수가 매우 커지기 때문에 실제 장비를 운용하는 측면에서 볼 때, 어레이 크기가 다소 제한 된다고 할 수 있다. 예를 들어, 샘플링 주파수 f_s 가 결정되고 음파가 두 센서의 측정부를 잇는 방향으로 c 의 속도로 진행한다고 가정할 경우 시간 지연을 유효하게 측정 할 수 있는 센서간 간격 d 의 최소 값은 다음과 같이 결정된다:

$$d > \frac{c}{f_s} \quad (2)$$

2.3 음향 인텐시티 기법

음향 인텐시티 측정 기법의 대표적 알고리즘은 한 쌍의 마이크로폰을 이용하여 그 마이크로폰들의 측정 부를 잇는 방향으로 인텐시티 벡터를 측정하는 P-P 방법이다. 다수의 마이크로폰으로 구성되는 한 개의 어레이를 이용하여 측정 가능한 1차원 벡터를 조합하면 임의의 측정 지점에서 3차원 인텐시티 벡터를 근사화하여 측정할 수 있는데 이 벡터의 방향을 토대로 음원의 위치를 역 추산하는 방법이 음향 인텐시티를 이용한 음원 위치 추정 기법이다. 이 기법의 정확도에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 음향 인텐시티의 유한 차분 근사화 오차인데 이 오

† 교신저자; 이정권, 한국과학기술원 소음 및 진동 센터

E-mail : J.G.Ih@kaist.ac.kr

Tel : 042-350-3035 , Fax : 042-350-8220

* 한국과학기술원 음향 연구실

차의 크기는 어레이를 구성하는 센서간의 간격이 좁을수록 작아지는 것으로 알려져 있으며⁽⁴⁾ 따라서 여타의 방법과는 대조적으로 어레이 소형화가 오히려 위치 추정의 오차를 감소 시킬 수 있는 것이다. 여기서 유한 차분 오차 1dB 이내의 정밀 측정을 위한 어레이 제한사항은 다음과 같다:

$$d < \frac{\lambda}{6} \quad (3)$$

2.4 모사실험을 통한 성능 비교

성능 평가를 위한 모사실험에서 임의로 설정한 직교 좌표계의 원점과 각 3축의 양의 방향에 d 만큼 떨어뜨려 각 3개의 마이크로폰을 위치시켜 총 4개의 센서를 이용해 어레이를 구성했다. 3차원 공간에서 전체 평면각 및 고도각의 범위를 고려해 각 1° 간격으로 총 65160개의 음파의 입사각을 설정하고 시간 지연, 빔형성, 인텐시티를 이용한 각 평균 평면각 (ϵ_{azi} , ϵ_{azb} , ϵ_{azi}) 및 고도각 오차 (ϵ_{evi} , ϵ_{evb} , ϵ_{evi})를 통해 위치 추정의 성능을 평가하게 되었다. 모사 실험에서 소형 어레이 사용을 염두해 최대 센서 간의 간격의 100 mm로 제한하고 신호 대 잡음비는 20 dB를 고려했다. 음원 주파수 대역폭은 인간의 주요 스피치 음성을 고려하여 다소 협소한 300-3000 Hz⁽⁵⁾로 설정했고 샘플링 주파수는 최대 관심 주파수의 10배인 30 kHz를 고려하였다. 모사실험 결과에서 음향 인텐시티 기법의 경우가 기존의 기법들에 비해서 d/λ 가 작을 경우 평균 평면각 및 고도각 오차를 작게 할 수 있음을 보임으로써 제안된 소형 인텐시티 어레이의 타당성을 관찰 할 수 있었다. 이와 더불어 어레이 소형화를 정량적으로 비교하기 위해서 평균 평면각 및 고도각 오차가 3° 이내가 되는 d/λ 범위를 아래 표 1에 정리하였다. 여기서 ϵ_{az} , ϵ_{ev} 는 평균 평면각 및 고도각 오차를 의미한다.

Table 1. Ranges of d/λ in case of ϵ_{az} & $\epsilon_{ev} < 3^\circ$

Techniques	Beam forming	TDOA	Intensity
Based on ϵ_{az}	$d/\lambda > 0.70$	$d/\lambda > 0.53$	$d/\lambda < 0.14$
Based on ϵ_{ev}	$0.23 < d/\lambda < 0.41$	$d/\lambda > 0.72$	$d/\lambda < 0.18$

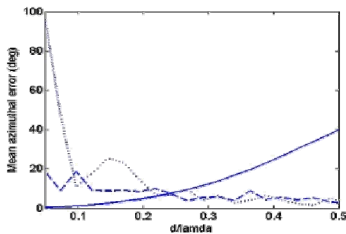


Fig. 1. Mean azimuthal angle error: —, ϵ_{azi} ; ---, ϵ_{azb} ; ···, ϵ_{azi} .

ϵ_{azb} ; ···, ϵ_{azi} .

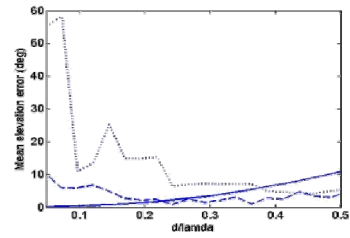


Fig. 2. Mean elevation angle error: —, ϵ_{evi} ; ---, ϵ_{evb} ; ···, ϵ_{evi} .

3. 결 론

본 연구에서는 협소 대역의 음원 위치 추정을 위해 소형 어레이가 적용 가능한 인텐시티 기법을 제안하였다. 위치 추정 성능 평가를 위한 모사실험에서 제안된 음향 인텐시티 어레이를 사용할 경우에 $d/\lambda < 0.18$ 인 조건에서 평균 평면각 및 고도각 오차를 3° 이내로 할 수 있음을 보였고 이로써 기존의 방법들과 비교하여 인텐시티 기법이 소형 어레이에 적합함을 보였다.

후 기

본 연구는 BK21 과 P3DigiCar NCRC (NRF 2011-0018242)에서 일부 지원을 받아 수행되었습 니다.

참고 문헌

- (1) G. Mao, B Fidan and B. Anderson, "Wireless sensor network localization technique," *Computer Networks*, **51**, p.2259-2553 (2007).
- (2) M. S. Brandstein and D. Ward, *Microphone array*, p.4-17 (2007).
- (3) M. S. Brandstein, J. E. Adcock and H. F. Silverman, "A practical time-delay estimator for localizing speech sources with a microphone array," *Computer speech and Language*, **9**, p.153-169 (1995).
- (4) J. K. Thomson and D. R. Tree, "Finite difference approximation errors in acoustic intensity measurements," *J. SoundVib.*, **75**, p.229-238 (1981).
- (5) I. Bele, "The speaker's formant," *J. Voice*, **20**, p.558-578 (2006)