

시간 영역의 빔출력과 후보 신호 사이의 비교를 통한 소음원의 위치 추정

Noise source localization using comparison between candidate signal and beamformer output in time domain

김구환† · 김양한*

Koo-Hwan Kim and Yang-Hann Kim

1. 서 론

공간 상에서 진행되는 음파에 대한 정보로부터 그 음파를 방사한 음원의 위치를 추정하는 문제는 소음 제어 전략 수립에 있어 매우 중요하다. 음원의 위치를 추정하는 방법으로 보편적으로 사용하는 방법으로 빔 형성 방법이 있다. 빔 형성 방법은 어레이를 통해 얻는 음압을 모델링하여, 실제 측정된 음압과의 비교를 통해 음원의 위치를 추정하는 방법이다. 기존의 빔 형성 방법의 대전제는 찾고자 하는 공간 내에 음원이 하나만 있다고 가정하고, 빔 출력이 최대가 되는 위치를 음원의 위치로 추정하게 된다. 이 때문에 다수의 음원에서 동시에 소음이 발생하는 상황에서는 가장 큰 소음을 내는 음원이 아닌 다른 음원의 위치를 추정하기 힘들다. 따라서 다수의 음원이 존재하는 상황에서 각 음원의 위치를 추정하기 위한 방법이 필요하다. 본 연구에서는 시간 영역의 지연-합 빔형성 방법을 통해 얻는 빔 출력이 음원이 존재하는 위치에서 파형이 다른 위치보다 더 비슷해지는 원리를 이용하여 음원의 위치를 추정한다. 음원에서 나오는 음압의 파형을 후보신호(candidate signal)이라고 정의하고, 이 후보신호와 빔출력 사이의 유사도(similarity)를 정의하여, 이 유사도를 이용해 음원의 위치를 추정하고자 한다.

2. 시간 영역의 빔 형성 방법

서로 다른 파형의 신호를 내는 N 개의 음원이 공간상에 분포해 있다고 가정한다. 이때 i 번째 음원

에서 나오는 신호를 $s_i(t)$ 라고 한다. 마이크로폰 어레이의 구경에 비해 파장이 길다고 가정하면, 음원과 마이크로폰 배열 사이의 전파 모델을 평면파 전달모델로 가정할 수 있다⁽¹⁾. 문제를 간단히 하기 위해 마이크로폰 배열을 등간격 선형 배열로 한정하고, 마이크로폰 간격을 d , 센서의 개수를 M 개로 한다. i 번째 음원이 존재하는 방향을 θ_i 라고 하면, j 번째 마이크로폰으로 들어오는 음압은 자유 음장 조건에서 식 (1)과 같다.

$$P_j(t) = \sum_{i=1}^N s_i(t - \frac{(j-1)d \cos \theta_i}{c}) \quad (1)$$

여기서 $d \cos \theta_i / c$ 는 센서의 공간 분포로 인한 인접한 센서 사이의 시간지연을 의미한다. 지연합 빔형성 방법⁽²⁾은 이 시간지연을 보상해 더해줌으로써 특정 방향에서 오는 음원의 신호는 보강간섭을, 이외의 신호는 상쇄간섭을 일으켜 음원의 위치를 추정하는 방법이다. 이때 빔출력(Beamoutput)은 다음과 같이 식 (2)로 정의된다.

$$z(\theta, t) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M P_j(t + \frac{(j-1)d \cos \theta}{c}) \quad (2)$$

식 (2)를 식 (1)에 대입하면, 다수의 음원이 있는 상황에서 지연합 빔 형성을 통한 빔 출력을 얻을 수 있다.

$$z(\theta, t) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N s_i(t + \frac{(j-1)d(\cos \theta - \cos \theta_i)}{c}) \quad (3)$$

빔출력 결과의 물리적인 의미를 보기 위해 첫 번째 음원이 있는 방향($\theta = \theta_1$)에서의 빔출력을 살펴보면 다음과 같다.

$$z(\theta_1, t) = \frac{1}{M} \left\{ \sum_{j=1}^M s_1(t) + \sum_{j=1}^M \sum_{i=2}^N s_i(t + \frac{(j-1)d(\cos \theta_1 - \cos \theta_i)}{c}) \right\}$$

† 교신저자; 한국과학기술원 기계공학과

E-mail : kh-kim@kaist.ac.kr

Tel : (042) 350-3065, Fax : (042) 350-8220

* 한국과학기술원 기계공학과

$$= s_i(t) + \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \sum_{i=2}^N s_i(t + \frac{(j-1)d(\cos \theta_1 - \cos \theta_i)}{c}) \quad (4)$$

이때 식 (4)의 첫번째 항은 첫번째 음원에서 나오는 신호에 의한 영향을 의미하고, 두번째 항은 나머지 음원에서 나오는 신호들의 합을 의미한다. $\theta_i \neq \theta_1$ 이므로, 두번째 항의 합들은 상쇄간섭이 일어나 그 크기가 작아진다. 다시 말해 음원이 있는 방향에서의 빔 출력은 그 음원이 내는 신호의 파형과 가장 유사하게 나타난다. 이를 이용해 예를 들어 신호대잡음비가 높은 상황에서 어떤 음원에서 나오는 신호를 측정할 결과를 후보신호 $b(t)$ 로 정의한다면, 이 $b(t)$ 와 빔 출력 $z(\theta, t)$ 사이에 파형이 얼마나 유사한지 그 유사도를 정의하여, 음원의 위치를 추정할 수 있다.

3. 위치 추정을 위한 신호 비교 방법 및 위치 추정 성능

3.1 내적을 이용한 신호 비교

입사각도별 빔출력과 비교할 대상인 후보신호를 $b(t)$ 라고 정의하자. 측정된 신호와 후보신호는 시간 영역에서 이산화된 벡터로 표현할 수 있다.

$$\mathbf{z}(\theta) = [z(\theta, 0) \quad z(\theta, \Delta t) \quad \dots \quad z(\theta, (N-1)\Delta t)]^T \quad (5)$$

$$\mathbf{b} = [b(0) \quad b(\Delta t) \quad b(2\Delta t) \quad \dots \quad b((N-1)\Delta t)]^T$$

따라서 빔출력과 후보신호 사이의 유사도는 두 벡터 $\mathbf{z}(\theta)$ 와 \mathbf{b} 의 유사성은 나타내는 것과 같다. 본 연구에서는 이 유사도를 두 벡터 사이의 내적을 통해 다음과 같이 정의한다.

$$\langle \mathbf{z}(\theta) \cdot \mathbf{b} \rangle = \mathbf{z}(\theta)^T \mathbf{b} = \sum_{i=1}^N z(\theta, (i-1)\Delta t) \cdot b((i-1)\Delta t) \quad (6)$$

3.2 위치추정결과

벡터 사이의 내적을 이용한 유사도 정의 방법의 의한 위치 추정 성능을 확인하기 위해 주파수가 다른 두개의 순음성분이 입사할 때 위치추정결과와 과도 신호 중 하나인 6가지 종류의 새소리로 모사실험을 수행하였다. 그림 1은 1000Hz와 1500Hz 두 순음을 내는 음원이 각각 60°, 120°에 존재할 때 각 순음 성분을 후보 신호로 하였을 때 유사도를 이용한 위치 추정 결과이다. 그래프에서 점선은 해당 후보신호와 동일한 신호를 내는 음원의 위치를 나타낸다. 빔출력과 후보신호의 내적을

이용한 결과에서는 음원이 있는 위치에서 유사도

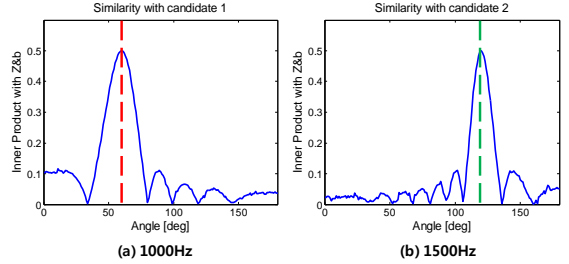


Figure 1 Localization results of using inner product between beamoutput and candidate signal
가 가장 크게 나타났다. 이는 1000Hz와 1500Hz의 신호가 서로 직교(orthogonal)관계이므로, 서로 간의 내적에 아무 영향을 끼치지 않기 때문이다. 이에 비해 과도 신호를 이용한 결과는 음원에서 나온 신호 사이의 상호상관(cross-correlation)에 따라, 또 그 신호의 크기에 따라 위치추정이 가능한 경우도 있고, 그렇지 못한 경우도 있었다.

3. 결 론

다수의 음원이 존재하는 상황에서 특정 음원의 위치를 추정하기 위한 방법을 제안하였다. 다수의 음원이 있을 때 어떤 음원이 있는 위치 혹은 방향에서의 지연합 빔출력이 그 음원이 내는 신호와 유사한 파형을 가진다. 이를 이용하여 내적을 이용한 유사도를 정의하고, 음원의 위치를 추정했다. 그 결과 각 음원에서 나오는 신호들 사이의 상호상관에 따라 위치 추정 성능이 달라졌고, 각 신호들 사이의 상관도가 낮을수록 그 성능이 좋아진다.

후 기

본 연구는 두뇌 한국 21(BK21) 프로그램 및 한국연구재단(NRF), 국방과학연구소(ADD)의 지원 하에 이루어졌으며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Heinz Teutsch, 2007, Modal Array Signal Processing: Principles and Applications of Acoustic Wavefield Decomposition, Springer, pp.221-224.
- (2) D. H. Johnson and D. E. Dudgeon, 1993, Array Signal Processing : Concepts and Techniques, P T R Prentice-Hall, Inc, Chapter 4