

청감특성 가중치를 고려한 광대역 마이크로폰 어레이의 최적 설계

Design optimization of broadband microphone array considering perceptual weighting by human ear

신용호* · 김대성* · 김기현** · 왕세명†

Yongho Shin, Daesing Kim and Semyung Wang

1. 서 론

우리가 생활하는 공간상에는 무수히 많은 음원들이 존재하고 있다. 만약 이러한 음원들을 동시에 듣는다면 잘못된 사고를 하게 될 것이다. 하지만 사람은 그 수 많은 소리 중에서 원하는 소리만을 선택적으로 인지할 수 있는 특별한 능력이 있다. 그렇기 때문에 아무리 시끄러운 환경에서도 원활한 의사소통을 할 수 있지만 이를 만약 사람이 아닌 하나의 센서를 통해서 구현하려 한다면 많은 어려움이 따를 것이다. 그 중 가장 큰 문제가 공간상에서 방사되는 음원을 어떻게 구별할 것인가 하는 것이다. 이를 해결 하기 위해서 1950 년도에서부터 안테나 어레이의 연구로부터 출발한 마이크로폰 어레이를 이용한 소리의 공간적 필터링 기법(Beamforming)이 연구 되어 왔으며 현재까지도 꾸준히 연구 되어지고 있는 실정이다. 이러한 어레이를 구성하는 마이크로폰 사이의 간격은 일반적으로 공간적 엘리어싱을 피하기 위해 최대 관심주파수에 의한 파장에 의해 결정된다. 그렇기 때문에 저주파 영역에서의 공간적 필터링 성능은 자연히 떨어지게 되는데, 만약 필터링하고자 하는 신호가 광대역 음원이라면 음원의 주파수 대역에 대해 동일한 지향성을 갖도록 설계해야 한다. 이러한 특성을 갖도록 하기 위해 Constant Directivity Beam-forming(CDB)⁽¹⁾ 또는 Harmonic nesting⁽²⁾ 기법을 이용하여 어레이의 간격 및 빔포머를 설계한다. 하지만 주파수 독립적인 지향성을 위해 어레이를 구성하는 마이크로폰의 수와 배열의 크기가 너무 커지는 단점으로 인해 어레이의 간격에 대한 최적설계⁽³⁾ 를 통해 개발되어 왔다. 그러나 사람이 소리를 인지하는 데에 있어서 모든 주파수 성분들을 동일한 크기로 듣는것은 아니다⁽⁴⁾. 즉, 소리를 인지하는 과정에 있어서 많은 영향을 끼치는 주파수와 그렇지

않은 주파수가 있는데 마이크로폰 어레이를 이용하여 청각에 대한 보조기구로서 빔포밍을 한다면 이러한 귀의 특성이 고려된 어레이가 설계되어야 한다.

본 연구에서는 이러한 광대역 신호에 대한 빔포밍을 함에 있어서 사람 귀의 청감 특성이 고려된 어레이를 설계하였으며 실험을 통하여 등간격 어레이에서의 빔포밍, 최적설계에서의 빔포밍과 Loudness 를 각도별로 비교하였다.

2. 본 론

2.1 빔포밍 기법

(1) Delay and Sum Beamformer

모든 마이크로폰이 전방향성(Omni-directional)이고 마이크로폰에 도달하는 음원이 평면파(Far-field)일 때 어레이의 각 채널에서 측정되는 신호는 그림 1에서 처럼 식 (1)과 같다.

$$x_i = a_i s(t - \tau_i) + N_i \quad (i = 1, 2, \dots, M) \quad (1)$$

$$\tau_i = d \frac{(i-1)}{c_0} \sin(\theta) \quad (2)$$

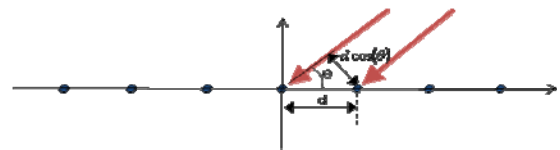


그림 1. 마이크로폰 어레이의 신호 모델링 이때의 마이크로폰의 간격은 식 (3)과 같이 정해지며 빔포머는 식 (4)와 같이 설계된다.

$$d = \frac{\lambda_{\min}}{2} = \frac{c}{2 * f_{\max}} \quad (3)$$

$$\bar{W}(\phi, f) = \frac{1}{N} v(\phi, f) \quad (4)$$

이러한 어레이의 구조(Uniform distribution)는 신호의 주파수 범위가 넓어짐에 따라 저주파에서의 지향성이 떨어지게 된다.

† 왕세명; 광주과학기술원

E-mail : smwang@gist.ac.kr

Tel : (062) 970-2390, Fax : (062) 970-2384

* 광주과학기술원(GIST)

2.2 마이크론 어레이의 최적설계

(1) 문제정의

마이크론의 위치는 2.1 절에서 처럼 어레이의 응답을 결정하는 매우 중요한 요소이며 공간적 에일리어싱(spatial aliasing) 과도 밀접한 관련이 있다. 따라서 이러한 마이크론의 위치를 설계변수로 하며 주어진 구속조건(마이크론의 수, 주파수 범위, 어레이 길이)을 만족하는 최적화 문제(식 5)의 해를 구함으로서 최적화 시킬 수 있다.

$$\text{Min}_{p_n} F(p_n) = \sum_j^{2\pi} |\bar{G}(f)\bar{B}(\theta_j, f) - \bar{W}^H(\phi, f)\bar{d}(\theta_j, f)|^2 \quad (5)$$

여기서 설계변수는 p_n (마이크론 위치)이며 $\bar{G}(f)$ 는 귀의 청감특성을 고려한 perceptual weighing 이며 그림 2 와 같다.

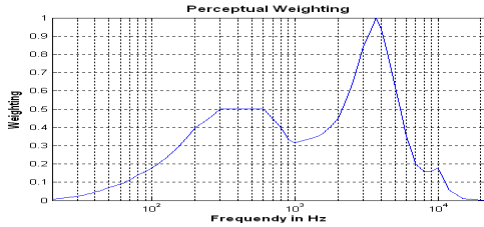


그림 2. Perceptual Weighting⁽⁴⁾

최적설계 과정을 수행하기 위해 이상적인 Spatial Response 는 그림 3 의 Ideal Spatial Response 와 Delay and Sum Beamformer 에 대한 Spatial Response 의 오차에 대한 perceptual weighting 의 곱의 크기를 최소화 하도록 하였다.

최적 설계 알고리즘으로는 Levenberg Marquardt 방법을 사용하였다.

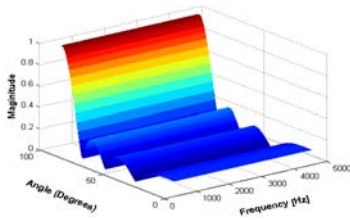


그림 3. Ideal Spatial Response

(2) Directivity Index

$$DI(e^{j\omega}) = 10 \log_{10} \left(\frac{|\bar{w}^H \bar{d}|^2}{\bar{w}^H \tilde{\Gamma}_{vv} \bar{w}} \right)_{Diffuse}$$

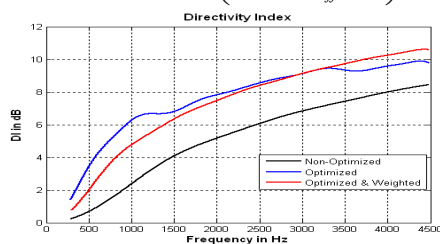


그림 4. Directivity Index

2.3 시뮬레이션 및 실험결과

실험은 LabView8.6 및 B&K 의 4935 1/4' 어레이 마이크론을 이용하여 측정하였으며 fs= 32768Hz 이다.

(1) Loudness 비교 시뮬레이션 및 실험

- 시뮬레이션/실험

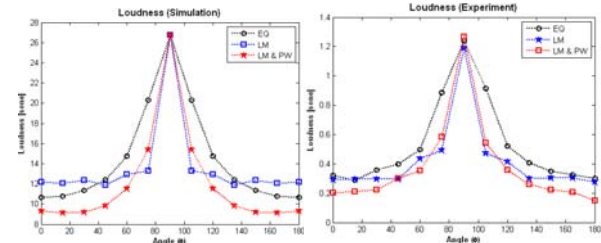


그림 5. Loudness (simulation, Experiment)

위의 그림 5 에서 확인할 수 있듯이 시뮬레이션과 실험이 비슷한 경향을 나타내고 있으며 90 도 (Look-Direction)의 방향을 제외한 나머지에서 loudness 가 크게 감소하였다.

3. 결론

본 연구에서는 마이크론 어레이를 이용하여 광대역 신호를 빔포밍 하기위한 최적 설계를 수행하였으며 이를 수행함에 있어서 귀의 청감특성을 고려하였다. 그리고 이론적 시뮬레이션 및 실험적 결과를 통하여 이를 검증하였으며 특정 각도(Look-Direction)를 제외한 나머지 각도에서의 Loudness 가 크게 감소한 결과를 얻을 수 있었다.

참고 문헌

- (1) Darren B.Ward, R. Kennedy, and R.Williamson, " Theory and design of broadband sensor arrays with frequency invariant far-field beam patterns" J. Acoust. Soc. Amer. 97(2), 1023-1034(Feb. 1995)
- (2) Thomas Chou, " Frequency-independent beamformer with low response error" Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1995. ICASSP-95., 1995 Internatioinal Conference on Volume 5, 9-12 May 1995 Page(s):2995-2998 vol.5
- (3) Matti Kajala, Matti Hamaldinen, " Broadband beamforming optimization for speech enhancement in noisy environments" Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, 1999 IEEE Workshop on 17-20 Oct. 1999 Page(s):19 - 22
- (4) " Acoustics:Normal equal loudness level contours" , ISO 226;2003.