

HRTF를 이용한 파라메트릭 어레이 스피커 전달감 개선에 관한 연구

서보국*, 서정국*, 차형태**

*캐치플로우 주식회사

**승실대학교 전자정보공학부

e-mail : bk.seo@catchflow.co.kr

Improvement of sound transfer effect of Parametric Array Speaker using HRTF preprocessing

Bo-Kug Seo*, Jung-Kook Seo*, Hyung-Tai Cha**

*CATCHFLOW Co., Ltd.

**Dept of Electronics Engineering Soongsil University

요 약

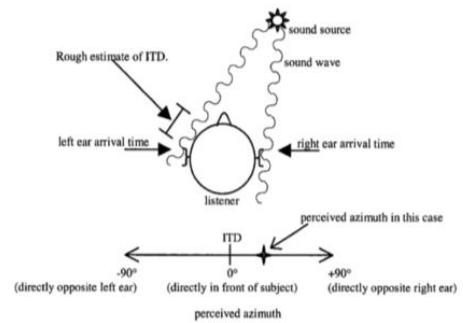
지향성 스피커는 초음파를 이용하여 소리에 직진성을 부여하여 특정 방향으로만 소리를 전달할 수 있다. 이러한 지향성 스피커는 초음파의 직진성 때문에 소리를 청취함에 있어 일반 스피커와 달리 전달감이 풍부하지 못하다는 단점이 있다. 본 논문에서는 청취자에게 음원이 전달되는 과정을 모델링한 머리전달함수를 사용한다. 지향성 스피커를 통하여 방사되는 음원에 머리전달함수를 전처리하여 전달감을 개선한다.

1. 서론

최근 스마트 시티, 디지털 사이니지, 관제 시스템 등에서 영상과 오디오의 융합에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 여러 시스템에서 오디오의 활용은 시각적 효과와 함께 정보의 정확한 전달 효과가 있다. 하지만 오디오의 적극적인 활용은 주변 소음 증가 및 필요 없는 정보의 무분별한 전달 등의 단점이 있다. 본 논문에서는 주변 소음 없이 효율적인 정보 전달을 위하여 특정 방향으로만 소리를 전달하는 지향성 스피커를 사용한다. 초음파를 사용하는 지향성 스피커의 음향 직진성을 개선하기 위하여 머리전달함수(HRTF : Head Related Transfer Function)을 사용한다. 지향성 스피커를 통해 방사되는 음향에 HRTF를 전처리하여 소리의 전달감을 개선한다.

2. 머리전달함수

청취자가 음원에 대한 방향을 지각할 수 있는 것은 머리 전달계의 고유 특성에 의하여 좌우 귀에 들어오는 두 소리의 시간차(ITD : Interaural Time Difference), 세기차(ILD : Interaural Level Difference), 반사와 회절에 의한 음원의 스펙트럼 정보(ISD : Interaural Spectrum Difference)가 발생하기 때문이다. 이러한 특성을 포함하고 있는 것을 머리전달함수라고 한다. 머리전달함수는 공간에 정위된 음원으로부터 사람의 귀로 전달되는 음향적 과정을 모델링하였다. 머리전달함수는 HRIR 형태로 제공되며, 방향성이 없는 음원에 적용하여 위치 정보를 생성한다. 본 논문에서는 MIT Media Lab에서 KERMA 더미헤드를 이용하여 수집된 머리전달함수를 사용한다[1].



(그림 1) 머리전달함수의 개념

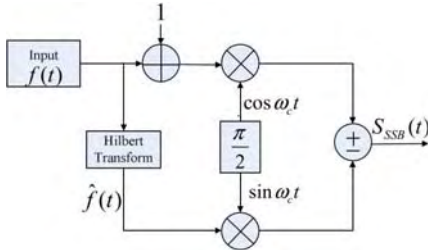
3. 지향성 스피커

지향성 스피커란 소리가 정면 방향으로 집중되도록 음향 제어를 함으로써 정면 사용자에게만 크게 들릴 수 있도록 하는 스피커이다. 지향성 음원을 생성하는 방법은 사운드 돔, 라우드 스피커 어레이, 초음파 트랜듀서(PZTs : Piezoelectric Transducers)를 사용하는 방법이 있다. 이중, 사운드 돔과 라우드 스피커 어레이 방식은 크기와 비용에 있어 비효율적이므로 상업적인 용도로는 거의 사용하지 않는다. 초음파를 사용하는 PA(Parametric Array) 스피커의 기본 개념인 비선형 간섭 효과(Nonlinear Interaction Effect)는 Westervelt가 처음 발견하였다. 두 초음파 신호가 동일한 경로를 진행 중일 때, 위 진행 경로를 새로운 파원으로 하는 음원이 만들어지며, 이 음원의 주파수는 두 초음파 신호의 주파수의 합과 차에 해당한다는 현상이다. Berkday는 비선형 간섭 효과를 다음과 같은 수식으로 근사화 하였다[2].

$$p_1(t) = P_1 E(t) \sin(\omega_c t) \quad (1)$$

$$p(t) = \frac{\beta P_1^2 A}{16\pi\rho_0 c_0^4 z \alpha} \frac{\partial^2 E^2(t)}{\partial t^2} \quad (2)$$

초음파 신호의 포락선 $E(t)$ 를 적절히 처리하여 청취 위치에서의 $p(t)$ 가 원하는 오디오 신호가 되도록 설계한다. PA 초음파와 스피커를 사용하여 $E(t)$ 를 생성하기 위하여 진폭변조를 사용한다. 대분의 상용화된 PA 초음파와 스피커에서 단일 측파대 변조(SSB AM)를 사용한다.



(그림 2) 단일 측파대 변조 방식

단일 측파대의 검출을 위하여 Hilbert 변환을 사용하였으며, Hilbert 위상 변환 수식은 다음과 같다.

$$|H(f)|=1 < H(f) = \begin{cases} +\pi/2 & \text{for } f < 0 \\ -\pi/2 & \text{for } f > 0 \end{cases} \quad (3)$$

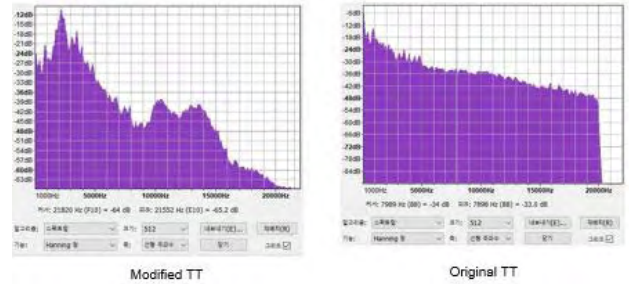
초음파를 반송파로 하여 진폭 변조된 음원을 공기 중에 방사하면, 청취자는 자가 복조 효과(Self Demodulation Effect)에 의해 소리를 들을 수 있다.

4. 지향성 스피커의 전달감 개선

PA 초음파와 스피커를 이용하여 소리를 방사하는 경우 초음파의 직진성에 의해 소리의 음상이 청취자의 정면에 명확히 형성되지 않는다. 이러한 소리의 전달감 문제를 개선하기 위하여 머리전달함수를 사용한다. MIT Media Lab의 머리전달함수는 1.4m 거리에서 측정된 소리 전달 모델이다. 본 논문에서는 이에 착안하여 PA 초음파와 스피커로 방사되는 음원에 머리전달함수를 전처리하여 청취자 정면에 음상 효과를 생성하였다. 전처리 과정은 머리전달함수를 이용하여 음상을 정위하는 컨벌루션을 사용하였다.

$$y(n) = \sum_{m=0}^{M-1} x(m)h(n-m) \quad \begin{cases} x(n): source \\ h(n): HRIR \end{cases} \quad (4)$$

청취자의 정면에 해당하는 고도각 및 방위각 0° 에 해당하는 HRTF를 사용하였다. Matlab을 이용하여 생성한 사인파와 Twice TT MP3 음원을 자체 제작한 PA 초음파와 스피커를 이용하여 테스트하였다. 아래 그림은 Twice TT MP3 음원과 머리전달함수가 적용된 음원의 주파수 스펙트럼이다.



(그림 3) 머리전달함수 적용 전후 비교

본 논문에서는 전달감 개선을 목적으로 실험을 하였으므로, 음질의 변화 등은 평가에서 고려하지 않았다.

5. 평가 결과 및 결론

PA 초음파와 스피커의 전달감을 개선하기 위하여 머리 전달함수를 적용하였다. 음상 정위를 기본 목적으로 하는 머리전달함수를 초음파 음원에 적용하여 개선 효과를 평가하였다. 총 10명의 청취자를 상대로 머리전달함수를 이용하여 전처리된 음원에 대하여 전달감 개선 효과를 1점에서 5점까지 평가하였다.

<표 1> 전달감 개선 청감 평가 결과 (단위 : 명)

	1점	2점	3점	4점	5점
Sine wave	X	4	4	2	X
Twice TT	X	3	5	2	X

청감 평가 결과 전처리된 음원의 전달감 개선 효과를 일부 확인할 수 있었다. 하지만 머리전달함수 적용된 음원이 확연히 전달감을 개선하였다고 보기엔 부족함이 있다. 이는 머리전달함수를 이용하여 생성된 음원 재생 시 발생하는 crosstalk, 초음파의 직진성 및 반사음 등이 원인이라 예측할 수 있다.

본 논문에서는 PA 초음파와 스피커를 이용한 음원 재생 시 전달감 개선을 위하여 머리전달함수를 적용하였다. 일반 라우드 스피커 또는 헤드폰 및 이어폰을 주목적으로 하는 머리전달함수를 PA 초음파와 스피커에 적용하여 그 효과를 확인함으로써, 추후 연구 진행의 가능성을 확인하였다.

참고문헌

[1] Bill Gardner, "HRTF Measurement of a KEMAR Dummy-Head Microphone" 1994, MIT Media Lab
 [2] Woon-Seng Gan, "Directional Sound and its application in immersive communication" JAN 2011, IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE

본 논문은 숭실대학교 산학협력단 연구마을 지원사업 학술연구비에 의하여 연구되었음.