2차원 스피커 환경에서 최적 Sweet Spot을 제공하는 스피커 구동 알고리즘

*최수진 부정용 김기준 박호종
광운대학교
*star8946@naver.com

Loudspeaker Driving Algorithm for Optimal Sweet Spot in 2-Dimensional Loudspeaker Layout

*Choi, Su-Jin Boo, Jeong-Yong Kim, Ki-Jun Park, Ho-chong
Kwangwoon University

요약

본 논문에서는 2차원으로 배열된 4개의 스피커를 이용한 음향 재생환경에서 청취자의 위치에 따라 최적의 sweet spot을 제공하도록 스피커를 구동하는 방법을 제안한다. 먼저 청취자의 위치를 추적하여 청취자의 귀와 스피커 쌍 후보 사이의 경로의 비율을 구한다. 다음, 청취자의 위치를 고려하여 스피커 쌍 후보들의 스피커 간 거리 비율을 구한다. 마지막으로, 앞서 구한 두 개 거리 비율의 비율이 1에 가까운 스피커 쌍을 구동 스피커로 결정하고 cross-talk cancellation을 음원에 적용하여 청취자에게 제공한다. 모의실험을 통해, 청취자의 위치가 변할 때 제안하는 스피커 구동 방법을 사용하여 기존의 방법보다 청취자에게 넓은 sweet spot을 제공할 수 있음을 확인하였다.

1. 서론

최근 멀티미디어 기술의 발달로 인해 사용자들의 고품질 오디오에 대한 요구가 증가하고 있으며, 이에 따라 스테레오 시스템에서 3차원 오디오 기술에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나 이와 같은 기술들은 헤드폰 청취환경에 최적화되어있기 때문에 스피커를 통하여 재생할 경우 환경에 의한 왜곡이 발생하여 완벽한 현장감을 제공할 수 없다.[1] 이러한 문제점을 해결하기 위해서 Cross-Talk Cancellation (CTC)이 개발되었다. 기존의 CTC는 2개 스피커를 이용한 오디오 환경에서 음원이 가지는 좌, 우 신호가 각각의 귀에 독립적으로 전해지지 않고 왼쪽 신호가 오른쪽 귀로, 오른쪽 신호가 왼쪽 귀로 전해지는 간섭현상(cross-talk)을 제거한다. 이때, 왜곡이 제거되어 헤드폰 청취환경과 같은 성능을 제공하는 영역을 “sweet spot”이라 한다.[2,3] 그러나 기존의 CTC는 sweet spot을 제한적인 영역에 생성하므로 청취자가 이동하면 좋은 성능을 제공할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 실시간으로 청취자의 위치를 추적하여 CTC를 적용하는 기술이 개발되었다. 따라서 2개 스피커 청취환경에서도 청취자의 이동과 상관없이 sweet spot을 제공할 수 있다. 그러나 청취자가 스피커 배열의 중심에서 멀어질수록 sweet spot 면적이 줄어드는 문제점이 있다. 이러한 문제점은 스피커 개수를 4개로 늘려 스피커 구동 알고리즘을 적용하면 더 좋은 성능을 제공할 수 있다.[4] 이와 같은 기술은 스피커를 1차원으로 배열할 때에 한정적이다.

본 논문에서는 4개 스피커를 2차원의 반원 위에 60° 간격으로 배열한 뒤 청취자의 위치에 따라 구동 스피커를 변경하여 청취자에게 최적의 sweet spot을 제공하는 스피커 구동 알고리즘을 제안한다. 제안하는 방법은 청취자의 위치를 추적하여 청취자와 스피커 쌍(pair) 후보 사이의 거리 비율을 구한다. 다음, 청취자의 위치를 고려하여 스피커 쌍 후보들의 스피커 간 거리 비율을 구한다. 마지막으로, 앞서 구한 두 개 거리 비율의 비율이 1에 가까운 스피커 쌍을 구동 스피커로 결정하고 CTC를 음원에 적용하여 청취자에게 제공한다. 모의실험을 통해, 청취자의 위치가 변할 때 제안하는 스피커 구동 방법이 기존의 방법보다 청취자에게 넓은 sweet spot을 제공할 수 있음을 확인하였다.[4]

2. 제안하는 방법

그림 1은 논문에서 제안하는 2차원 스피커 배열에서의 청취자의 위치에 따라 구동 스피커를 결정하는 과정을 나타낸다.

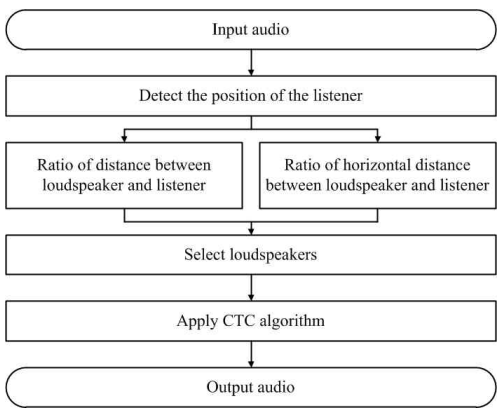

그림 1 제안하는 방법의 전체 구조

Fig. 1 Overall Structure of the Proposed Method.

먼저 청취자의 위치 정보를 수신한다. 이때, 청취자의 위치에 대하여 구동하는 스피커가 다를 때 sweet spot의 면적이 각각 다르다. 따라서 본 논문에서는 청취자와 스피커 간의 거리 비율을 이용하여 넓은 sweet spot 면적을 제공하는 스피커를 결정한다. 여기서 sweet spot 면적은 Channel Separation Ratio(CSR)를 계산하여 10dB 이상인 부분으로 정의한다.[2,3]

그림 2(a)는 2차원 스피커 배열과 청취자의 위치를 평면적으로 나타낸 것이다. 청취자의 위치는 스피커가 배열된 원의 중심으로부터 x, y축 방향으로 움직인다. 기존의 스피커 구동 알고리즘에서는 청취자와 스피커들의 수평거리 비율만 이용하여 구동 스피커를 결정한다.[4] 본 논문에서 제안하는 2차원의 스피커 배열에서는 y축을 포함한 거리 비율도 포함한다. (b)의 $d1$, $d2$는 청취자로부터 스피커까지의 직선거리를, $d3$, $d4$는 청취자와 스피커들의 수평거리를 나타낸다. r은 스피커 배열이 있는 반원의 반지름을, θ는 4개 스피커 사이의 각도이다.

넓은 sweet spot을 제공하기 위하여, 수신된 청취자의 위치정보를 이용하여 청취자와 스피커 간의 거리 비율이 가장 대칭인 구동 스피커를 결정한다. 먼저, 청취자로부터 스피커까지의 직선거리 비율인 $d1/d2$를 구하고, 다음으로 청취자로부터 스피커까지의 수평거리 비율인 $d3/d4$를 구한다. 마지막으로 각각의 비율을 $D1$과 $D2$라고 할 때, $D1/D2$가 가장 1에 가까운 것을 구동 스피커로 결정한다. 이러한 방법으로 청취자의 위치에 대하여 결정된 구동 스피커에 CTC를 적용한다. 이때, 4개 스피커 환경에 대해서는 의사 역행렬을 이용한 CTC를 적용하여 청취자에게 sweet spot을 제공한다.[4]

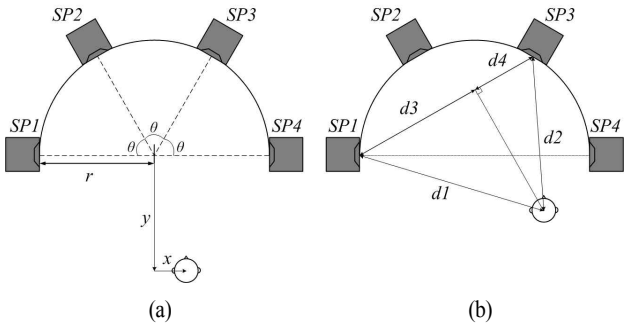

그림 2. 2차원 스피커 환경. (a) 스피커 배열과 청취자 위치. (b) 청취자 위치와 선택 스피커에 대한 거리

Fig. 2. 2-Dimensional Loudspeaker Environment. (a) Loudspeaker Layout and Listener Position. (b) Distance between Listener and Selected Loudspeaker.

3. 모의실험

제안한 방법의 모의실험을 그림 2와 같은 2차원 스피커 배열로 진행하였다. θ는 스피커 간 각도이며 60°로 설정하였고, 따라서 각각의 스피커 좌표는 (-3m, 0m), (-3cos(60°)m, -3sin(60°)m), (3cos(60°)m, -3sin(60°)m), (-3m, 0m)이다. r은 스피커 배열이 위치한 원의 반지름이며 3m로 설정하여 실험하였다.

그림 3은 청취자의 위치에 따른 sweet spot 면적을 구동 스피커 결정 방법에 따라 나타낸 것이다. 이때, 청취자의 위치는 x축으로

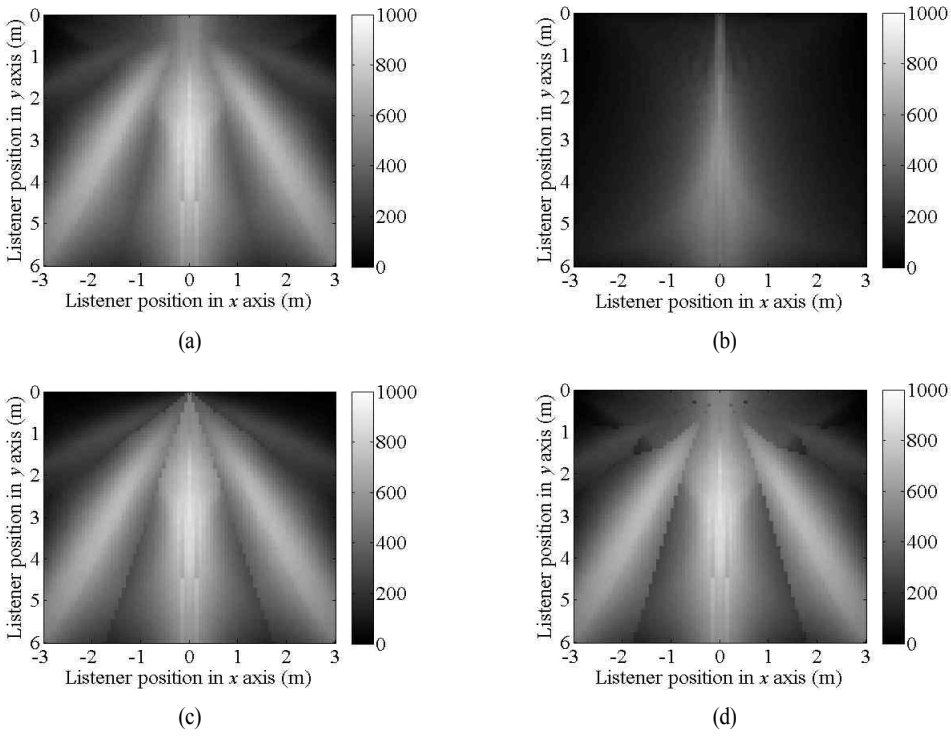

그림 3. Sweet spot 면적 그래프. (a) 스피커 쌍별 sweet spot 면적의 최댓값. (b) 4개 스피커 모두 구동한 sweet spot 면적. (c) 청기존의 방법으로 구동 스피커를 결정할 때의 sweet spot 면적. (d) 제안한 방법의 sweet spot 면적

Fig. 3. Graph of Sweet Spot Size. (a) Maximum Sweet Spot Size for the Selected Loudspeaker Pair. (b) Sweet Spot Size for the 4 Loudspeakers are Selected. (c) Sweet Spot Size for the Conventional Method. (d) Sweet Spot Size for the Proposed Method.

(-3m~3m), y축으로 (0m~6m)에서 이동한다. 그림 3(a)는 청취자의 위치에 따라 결정된 스피커 쌍 각각의 sweet spot 면적 최댓값을 추출하여 나타낸 것이며, (b)는 4개 스피커를 모두 구동할 때의 sweet spot 면적을, (c)는 기존의 방법인 청취자와 스피커 사이의 수평거리 비율로 구동 스피커를 결정할 때의 sweet spot 면적을,[4] (d)는 제안한 방법으로 구동 스피커를 결정할 때의 sweet spot 면적을 나타낸 것이다. (a)가 최종적으로 본 논문에서 목표하는 결괏값이며, (b)는 청취자가 중앙에 위치할 때만 넓은 sweet spot 면적을 가지는 것을 볼 수 있다.

그림 4는 그림 3(d)에서 나타낸 제안한 방법의 sweet spot 면적과 그림 3(c)에서 나타낸 기존 방법의 sweet spot 면적의 차이를 나타낸 것이다.[4] 이러한 결과로 대부분 위치에서 제안한 방법이 더 넓은 sweet spot 면적을 가지지만, 일부 위치에서는 기존 방법이 더 넓은 것을 확인할 수 있다. 이는 구동 스피커가 변경되는 경계면에서 발생하는 문제이며, 이를 해결하기 위하여 청취자의 위치에 대해 추가로 구동 스피커를 결정하는 방법을 연구할 예정이다.

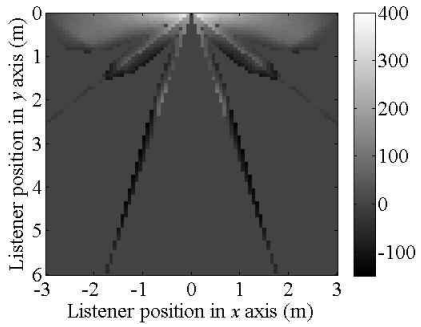

그림 4. 기존의 방법과 제안하는 방법의 sweet spot 면적 차이

Fig. 4. Difference between Conventional Method and Proposed Method.

4. 결론

본 논문에서는 2차원으로 배열된 4개의 스피커를 이용한 음향 재생 환경에서 청취자의 위치에 따라 구동 스피커를 결정하여 최적 sweet spot을 적용하는 기술을 제안하였다. 제안한 방법은 먼저 청취자의 위치정보를 수신하여 청취자와 스피커 쌍 후보 사이의 거리 비율을 구한다. 다음, 청취자와 스피커 쌍 후보 사이의 수평거리 비율을 구한다. 마지막으로, 앞서 구한 2가지 거리 비율의 비율이 1에 가까운 스피커 쌍을 구동 스피커로 결정하고 CTC를 음원에 적용하여 청취자에게 제공한다.

제안한 방법의 성능을 모의실험으로 측정하였고, 스피커 구동 알고리즘을 적용하지 않았을 때와 기존의 스피커 구동 알고리즘을 적용할 때보다 청취자의 움직임에 대하여 향상된 성능을 제공하는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT 연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2015-H8501-15-1014)

참고문헌

[1] W. G. Gardner, "Head tracked 3-D audio using loudspeakers," *Proc. IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*, New Paltz, NY, Oct 1997.

[2] K. S. Lee and S. P. Lee, "A real-time audio system for adjusting the sweet spot to the listener's position," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, pp. 835-843, vol. 56, no. 2, May 2010.

[3] Rose, P. Nelson, B. Rafaely and T. Takeuchi, "Sweet spot size of virtual acoustic imaging systems at asymmetric listener locations," *J. of Acoustical Society of America*, vol. 112, no. 5, pp. 1992-2002, Oct 2002.

[4] 부정용, 최수진, 김기준, 박호종, "최적 Sweet Spot 제공을 위한 스피커 구동 알고리즘", *한국방송공학회 하계 학술대회*, pp. 46-49, 2014.6