

2채널 트랜스오럴 필터를 이용한 최적 청취영역 확대에 관한 연구

안 찬 식, 황 신, 김 순 형

광운대학교 컴퓨터공학과

A Study on the Sweet-Spot Widening using 2-Channel Sound Transaural Filter

Chan-Shik Ahn, Shin Huang, Soon-Hyob Kim

Kwangwoon University

E-mail : absoluti@shinbiro.com

Abstract

본 논문은 2채널 스피커를 사용하여 청취자에게 보다 입체적인 음향 효과를 제시하기 위하여 크로스토크현상을 제거하고 청취자의 보다 자유로운 청취를 위해 최적 청취영역 확대를 위한 실험과 시스템 구현에 관한 것이다.

정면에 위치한 두 스피커로부터 교차경로인 크로스토크를 제거하기 위해 음질의 왜곡을 최소화하는 자유음장 모델을 이용하여 구현한 트랜스오럴 필터 사용하였고 최적 청취영역의 확대를 위해 스피커는 BPF(Band Pass Filter)를 이용하여 저주파와 고주파를 분리하여 각각 재생할 수 있는 스피커를 구성하였으며 저주파 영역은 제외하고 중고주파 영역을 이용하였으며 기존 크로스토크제거 시스템을 사용하여 고정된 한 점의 청취영역에서 좌·우로 5Cm씩 이동하며 100Cm까지 측정한 결과 30Cm, 55Cm, 75Cm, 90Cm, 100Cm에서 크로스토크제거됨을 알 수 있는 음의 분리도가 5dB이상 나타났다. 실험 결과 얻어진 각 지점들로부터 자유음장 모델을 이용하여 트랜스오럴 필터링 하였으며 각각의 간섭현상을 막기 위해 주파수 영역에서 심리음향에 기초한 1/3-Octave Band Pass Filter를 사용하여 음질 보상을 실시하였다. 음원을 제작하여 기존의 2채널 시스템에서 제시하는 음원을 각각의 위치의 음원과 비교하여 음질 평가를 실시하였으며 기존의 트랜스오럴 필터와 비교평가를 실시하였다.

1. 서 론

현재 시각에 대한 연구는 멀티미디어 연구 중 가장 많은 부분을 차지하고 있으며 하루가 멀다 하고 발전해 가고 있다. 영화에서는 이미 입체효과를 추가하여 실제 배

우를 사용하지 않고 실사와 같은 화면을 제공할 정도로 많은 발전을 이루었다. 그에 비해 청각에 대한 연구는 시각에 비해 많이 뒤떨어져 있지만 모노(mono), 스테레오(stereo), 돌비서라운드 시스템, 5.1채널 시스템으로 발전해 오며 평면적인 사운드를 벗어나 입체 음향에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 크로스토크 제거는 청취자가 헤드폰을 사용할 때 오른쪽 헤드폰은 오른쪽 귀에만 신호를 전달해 주고 왼쪽의 헤드폰은 왼쪽에 신호를 전달해주어 청취자가 정확한 음향을 받아들일 수 있는데, 스피커를 사용하게 되면 오른쪽 스피커에서 나온 신호가 왼쪽 귀에 들어가고 왼쪽 스피커에서 나온 신호가 오른쪽 귀에 들어가 서로간에 영향을 주어 음의 확산감을 저해하는 요소가 되는 불필요한 신호를 신호처리를 이용, 제거하여 보다 정확한 입체 음향을 느끼도록 하는데 그 목적이 있다. 크로스토크를 제거하는 트랜스오럴 필터이며, 고정되어있는 스피커 시스템에서 한 점에 집중되는 청취영역(sweet-spot)을 청취자의 위치 변화에도 강건한 sweet-spot을 확장시키고자 각 위치에서 발생하는 크로스토크 제거 트랜스오럴 필터를 이용하여 필터를 구성하려는 것이다.

II. 자유음장모델을 이용한 크로스토크 제거 방법

측정 머리전달함수를 이용한 크로스토크(cross-talk) 제거는 음색 왜곡과 음질 저하를 가져온다고 알려져 있다. 이런 부작용을 최소화하기 위해 고전적인 자유음장 모델을 선정하여 스테레오 다이폴(stereo dipole)을 구현하였다. 그러나 스테레오 다이폴은 특정위치의 복수한 스피커 배치에서만 재생하는 경우이다. 본 논문에서도 고전적 자유음장을 선정하여 트랜스오럴 필터를 구현하

였다. 여기서 스피커로부터 방사되는 음원을 점음원으로 간주한다. 청취자는 항상 자신의 상체, 머리, 외의 등의 신체 구조에 따른 자신의 음향학적 음압 전달 특성에 따라 들리는 음을 가장 자연스러운 음으로 인식한다. 자유 음장 모델은 양 귀 주위의 재현에 초점을 맞추고 있으며, 교막에서의 음압 재현은 아니다.

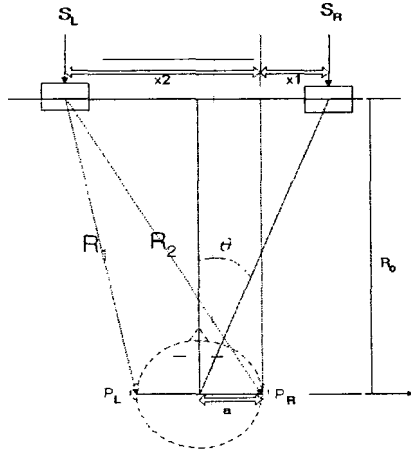


그림. 1 청취자와 스피커에 대한 구성

그림 1은 스피커와 청취자의 기하학적 구성도이다. R_0 는 음원에서 머리 중심까지의 거리이고, R_1 과 R_2 는 음원에 근접한 귀까지의 경로와 먼 쪽 귀와의 경로의 거리이다.

θ 는 머리의 중심점과 스피커와의 각도, 그리고 a 는 청취자 머리의 반경이다. 여기서 직접경로 R_1 과 교차경로 R_2 의 계산은 다음과 같고,

$$R_1 = \sqrt{R_0^2 + a^2 - 2aR_0 \cdot \sin \theta} \quad (1)$$

$$R_2 = \sqrt{R_0^2 + a^2 + 2aR_0 \cdot \sin \theta}$$

근접 경로와 교차경로와의 음압비 g_c 와 두 경로차이에 의한 음압 도달 시간 τ_c 는 다음과 같다.

$$g_c = C(R_2; f) / C(R_1; f) = R_1 / R_2 \quad (2)$$

$$\tau_c = (R_2 - R_1) / C_0$$

여기서 음압 비 g_c 는 항상 1보다 작다.

III. 최적 청취영역(Sweet-Spot)을 위한 트랜스 오일 필터 설계

3.1 최적청취영역

일반적으로 스테레오 시스템이나 돌비서라운드(dolby-surround) 시스템에서의 최적 청취 영역은 프런트 채널 두 개의 스피커 위치에서부터 거리가 두 배가 되

는 위치까지가 스피커 재생시스템에서의 최적청취영역이라 하며, 일반적으로 Sweet-Spot이라 함은 양 스피커의 내각이 일치할 때, 그때의 청취위치를 말한다. 다음 그림. 2에서 보이는 것과 같다.

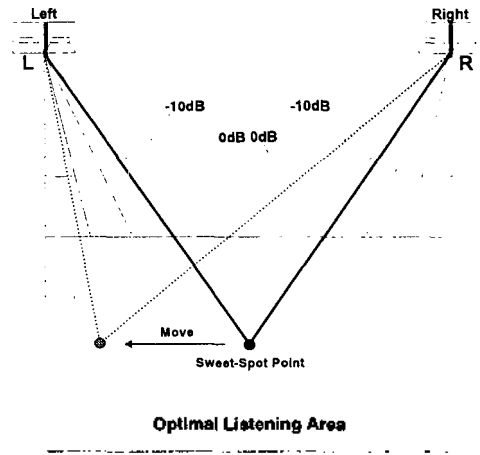


그림. 2 Stereo 재생 시스템을 위한 최적청취영역

그림. 2에서는 Left 채널의 스피커와 Right 채널의 스피커의 내각이 서로 같은 청취 지점을 Sweet-Spot Point라 하며, 이 지점에서만이 가장 최적의 청취영역을 갖는다. 그리고 그 지점에서 들은 음의 View point는 두 개의 스피커 정 중앙부에 집중되며, 청취자의 위치가 오른쪽이나 왼쪽으로 옮겨질 때에는 View point가 청취자의 중앙부에 집중된다.

두 개의 스피커에서 나오는 고주파 대역의 음원과 중주파수 대역의 음원은 각 스피커를 통해 재생되며, 재생되는 각 주파수대역의 소리는 최적 청취 영역 내에서는 최대 5dB까지의 손실을 보이지만, 청취영역 내에서는 모든 주파수 대역의 소리가 거의 균등하게 분포되어 청취자에게 들리게 된다. 여기에서 저주파수 대역의 소리는 재생되는 스피커의 위치에 상관없이 청취자의 귀에 균일하게 들리게 된다. 이러한 시스템을 위한 신호처리 구성도는 다음과 같다.

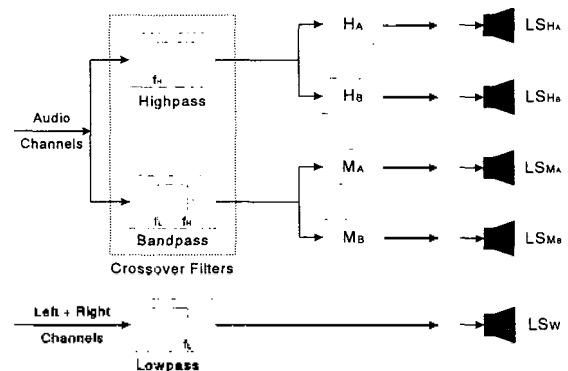


그림. 3 오디오 채널의 신호처리를 위한 블록 다이어그램

위 그림은 오디오 채널을 입력받아 각 대역필터를 통과하여 각각의 주파수 대역에 알맞은 스피커로 재생되는 시스템 구성도이다. 먼저 High-pass Filter는 주파수 대역을 5kHz~20kHz 대역을 통과시키며, Band-pass Filter는 800Hz~5kHz까지의 대역을 통과시킨다. 다음 마지막으로 Low-pass Filter는 20Hz~800Hz 대역을 통과시켜, 각 주파수 대역에 알맞은 스피커로 재생한다.

3.2 최적청취영역을 위한 트랜스오럴 필터 설계

일반적인 최적청취영역에서는 스테레오 시스템만을 재생하고 청취하는 시스템이다. 그러나 입체음향을 고려한 스피커 재생시스템은 크로스토크를 제거하는 트랜스오럴 필터를 필요로 한다. 하지만, 이러한 트랜스오럴 필터를 이용한 재생시스템에서는 최적 청취영역을 갖지 못하며, 오직 한 점에서만 집중되는 Sweet-spot을 갖는다는 단점이 있다. 이러한 단점을 없애기 위해 본 논문에서는 트랜스오럴 필터를 이용한 입체음향 재생시스템에 중·고주파 재생 시스템을 이용하여 입체음향을 한 점에 집중되는 sweet-spot이 아닌 최적 청취영역을 갖는 재생시스템을 만드는데 그 목적이 있다. 먼저 전체 시스템 구성도를 보면,

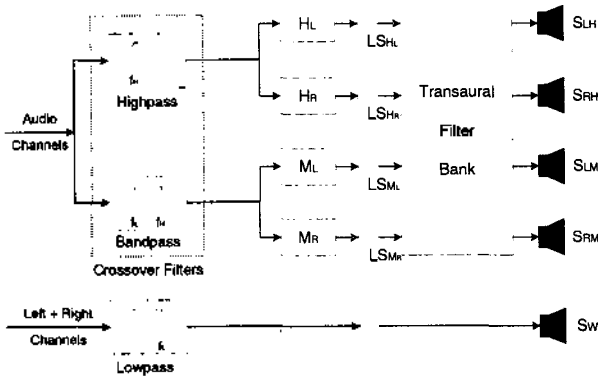


그림. 4 전체 시스템 구성도

위 그림에서 입력된 오디오 채널은 각 대역필터를 통과하여 주파수 대역으로 분리된 신호들이 청취자의 각 위치에 따른 트랜스오럴 Filter Bank를 통과하여 출력되어 나오는 시스템 구성도이다.

이를 수식으로 표현하면,

$$S_{LH}(f) = \sum_{i=-n}^n |G_i(f)| \cdot [LS_{H_L}(f) - LS_{H_R}(f) \cdot g_{ci} e^{-j\omega \tau_{ci}}]$$

$$S_{RH}(f) = \sum_{i=-n}^n |G_i(f)| \cdot [LS_{H_R}(f) - LS_{H_L}(f) \cdot g_{ci} e^{-j\omega \tau_{ci}}]$$

$$S_{LM}(f) = \sum_{i=-n}^n |G_i(f)| \cdot [LS_{M_L}(f) - LS_{M_R}(f) \cdot g_{ci} e^{-j\omega \tau_{ci}}]$$

$$S_{RM}(f) = \sum_{i=-n}^n |G_i(f)| \cdot [LS_{M_R}(f) - LS_{M_L}(f) \cdot g_{ci} e^{-j\omega \tau_{ci}}]$$

$$G_i(f; R_0, \theta) = \frac{g_{ci} \cdot e^{+j\omega \tau_{ci}}}{1 - g_{ci}^2 \cdot e^{-j2\omega \tau_{ci}}} \quad (3)$$

이들 수식을 기초로 입력된 신호를 각 주파수 대역필터를 통과한 신호를 각 청취자 위치에 강건한 트랜스오럴 필터 모듈을 구성[9]하였다.

IV. 크로스토크 생성프로그램 설계

4.1 필터 프로그램 설계

원시 웨이브 데이터 파일에 대해 transaural filter는 크로스토크를 제거 할 수 있다. 또한 다양한 환경에 대응하여 재생하며 고속연산을 할 수 있도록 하기 위해 청취자와 스피커간의 거리, 스피커의 각도, 청취자의 머리 크기 등을 파라미터 값으로 받아 시간 축 상에서 샘플단위로 연산을 수행한다. 정면 채널에 대해서는 앞 절에서 설명한 방법에 따라 τ_c 와 $|G(f)|$ 를 적용 후 바크 스케일에 따른 주파수 보상을 수행한다.

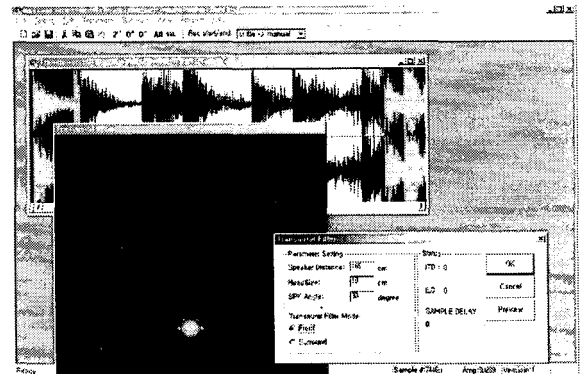


그림. 5 최적청취영역을 위한 트랜스오럴 필터부 실행

V. 실험 및 성능평가

5.1 청취실험 및 성능평가

실험의 진행은 미리 음원이 저장된 PC를 통하여 각 주파수 대역으로 추출된 음원을 각 스피커를 통하여 재생하여 중앙에 설치된 마이크를 통하여 크로스토크의 성능평가가 실행되었고, 이 필터의 성능 향상정도를 평가하기 위해 기존에 개발된 내각의 변화에 따른 트랜스오럴 필터의 성능비교 평가도 실시하였다. 실험은 무향실에서 실험을 행하였으며, 실험 장치도는 아래 그림과 같다.

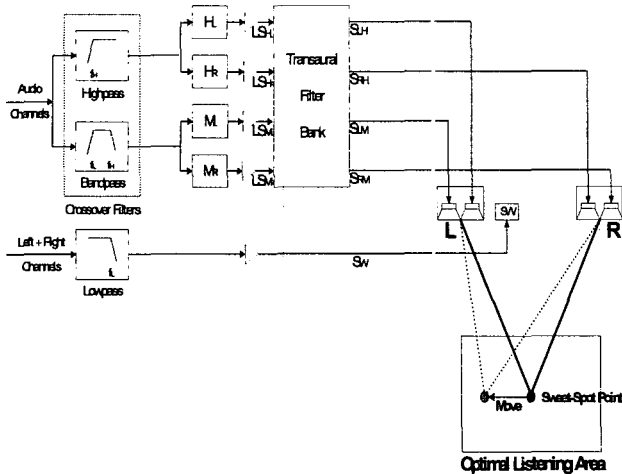


그림. 6 실험 장치도

5.2 기존 트랜스오럴 시스템과의 비교 실험 및 결과

이 실험은 기존에 개발된 스피커와 청취자간의 내각의 변화에 따른 트랜스오럴 필터 부와 최적 청취영역을 위한 트랜스오럴 필터 부와의 성능비교평가이다.

기존에 개발된 트랜스오럴 필터부분 같은 경우 각 내각에 따라 한 점에 집중되는 Sweet-spot을 가지는 트랜스오럴 필터와 한 점에 집중되는 단점을 고려한 최적 청취영역 확대를 위한 트랜스오럴 필터부와의 성능을 비교하는 것이다.

그 비교결과는 다음과 같다.

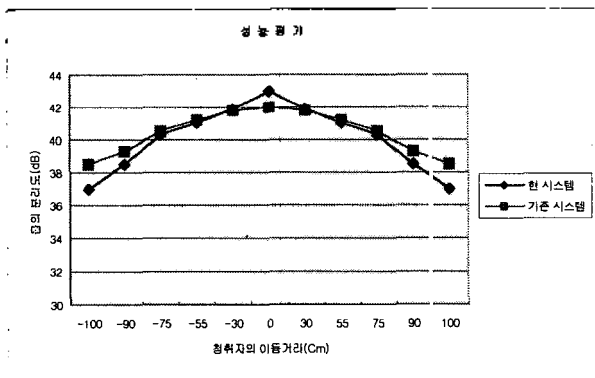


그림. 7 음의 분리도 비교실험

비교 결과 기존의 트랜스오럴 필터는 한 점에 집중되는 Sweet-Spot에서만 음의 확산감 및 분리가 확실히 일어나지만, 현 구현 시스템에서는 기존의 트랜스오럴 필터 시스템과는 달리 청취자의 좌·우 100cm에서는 음의 분리도 및 확산감에서 기존의 시스템과 비슷한 효과를 보임을 알 수 있었다.

VI. 결 론

구현된 필터와 기존의 트랜스오럴 필터의 성능평가를 실시하였다. 최적청취영역을 위한 트랜스오럴 필터 구현은 기존의 트랜스오럴 필터를 이용한 음원의 분리도에서 확대된 영역에서의 크로스토크 제거율이 37 dB ~ 43 dB 정도로 나타남에 따라 한 지점의 크로스토크 제거를 38.5 dB ~ 42 dB과 비슷한 성능을 보였다. 아직은 그다지 넓은 공간이 아니므로 계속된 실험을 통해 TV set, multimedia, 홈 씨어터와 같이 청취 영역이 큰 장소에서 좋은 스테레오 사운드를 재현하려는 어떠한 시스템에도 적용 사용할 수 있도록 해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Durand R. Begault, 3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia, Academic, 1994.
- [2] O. Kirkeby, P. A. Nelson, H. Hamada, "Local sound field reproduction using digital signal processing", J. Acoust. Soc. Amer., vol.100, pp. 1584-1593, Sept. 1996.
- [3] M. Miyoshi, Y. Kaneda, "Inverse filtering of room acoustics", IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol.36, pp.145-52, Feb. 1988.
- [4] M. Miyoshi, Y. Kaneda, "Active control of broadband random noise in a reverberant three dimensional space", Noise Contr. Eng. , vol.36, pp.85-90, Apr. 1991.
- [5] Josep A. Rodenas, Ronald M. Aarts, "Sweet spot widening for stereophonic sound reproduction", IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics 2001, pp.191-194, Oct. 2001
- [6] D.B. Ward, G.W. Elko, "Effect of loudspeaker position on the robustness of acoustic crosstalk cancellation", IEEE Signal Processing Letters, vol.6, no.5, pp.106-108, May 1999
- [7] O. Kirkeby, P. A. Nelson, H. Hamada, "The stereo dipole - A virtual source imaging system using two closely spaced loudspeakers", J. Audio Eng. Soc., vol.46, pp.387-395, May 1998