

위상차와 음압 레벨차를 이용한 텔레비전에서의 스테레오 음상 확대

박 해 광, 오 제 화, 이 광 순, 최 덕 규, 송 규 익
경북대학교 전자공학과
E-mail: phk@palgong.kyungpook.ac.kr

Stereo Sound Image Expansion Using Phase Difference and Sound Pressure Level Difference in Television

Hae-Kwang park, Jae-Hwa Oh, Kwang-Soon Lee, Duk-Kyu choi Kyu-Ik Sohng
Dept. of Electronics, Kyungpook-National University
1370 Sankyuk-dong Buk-gu, Taegu, 702-791, Korea

Abstract

Three-dimensional(3-D) sound is a technique for generating or recreating sounds so they are perceived as emanating from locations in a three-dimensional space. Three dimensional sound has the potential of increasing the feeling of realism in music or movie soundtracks. Three-dimensional sound effects depend on psychoacoustic spectral and phase cues being presented in a reproduced signal.

In this paper we propose an effective algorithm for the sound image expansion in television system using stereo image enhancement techniques. Compared to the other techniques of three-dimensional sound, the proposed algorithm use only two speakers to enhance the sound image expansion, while maintaining the original sound characteristics.

kHz 미만의 저주파 영역에서는 최적의 위상처리 방식을 이용하였고, 1kHz 이상의 고주파 영역에서는 레벨차 처리 방식을 이용하였다. 이는 기존의 음상 확대 시스템보다 뛰어난 확장감과 음질을 얻을 수 있는 방식이다.

최적의 음상 확대를 위하여 위상 및 레벨차에 의한 음상 이동 특성을 컴퓨터를 통한 모의 실험과 청취자를 이용한 청취 실험으로 구하였다.

제안한 방식을 단일 순음과 test 신호인 Uncorrelated Stereo Noise, 스테레오 음악 등을 이용하여 음악에 관심이 많은 비전문가 20 명을 대상으로 확장감과 음질에 대하여 청취 실험한 결과 뛰어난 확장감과 음질을 가지는 시스템을 확인할 수 있었다.

1. 서론

일반 텔레비전을 시청할 경우 스피커 사이의 한정된 좁은 공간 내에서만 음상이 존재하므로 공간감 있는 음향을 청취할 수 없다. 공간감 있는 음향 효과를 내기 위한 방식으로는 Dolby Pro-Logic, Dolby AC-3, Head Related Transfer Function(HRTF) 및 Stereo Image enhancement^[1]를 이용하는 3-D 효과 방식이 사용되고 있다. 그러나, Pro-Logic 과 AC-3 는 Multi-Channel 방식으로 원하는 효과를 얻기 위해서는 스피커의 추가 배치가 필요하여 비용면에서 문제가 있고, HRTF 를 이용하는 방법은 신호가 narrow-band 일 때와 저주파 영역일 때 효과가 줄어들고 특히 청취자에 따른 HRTF 차이가 문제가 되며 Uncorrelated Stereo 신호일 때는 효과가 떨어진다.^{[2],[3]}

본 논문에서는 양이간의 위상차와 음압 레벨차로 음원의 위치를 판별하는 귀의 특성^{[4],[5]}을 이용하여 음상을 전대역에서 효과적으로 확장시킬 수 있는 Stereo Image Enhancement 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 일반 텔레비전 시스템에 적용하기 위한 것으로, 1

II. 스테레오 음상 정위

청취자는 두 귀에 가해지는 음압의 레벨차, 시간 지연차 및 위상차로 음원의 위치를 판단한다. 따라서 그림 1에서와 같이 단일 순음을 좌우 스피커를 통해 재생하기 전에 음압 레벨과 위상을 적절하게 변화시키면 음상을 스피커의 위치보다 넓은 방향에 정위시킬 수 있다. 센터에서 좌우 스피커까지의 각도가 θ , 좌우 스피커의 음압 레벨비가 k , 그리고 위상차가 ϕ 인 순음 신호가 재생될 때 좌우의 위이도 입구에 전달되는 신호 P_L, P_R 은 각각

$$P_L = (1+k e^{-j\phi} \cdot \gamma e^{-j\theta}) P_0 \tag{1}$$

$$P_R = (k e^{-j\phi} + \gamma e^{-j\theta}) P_0 \tag{2}$$

로 주어진다.^[6] 여기서 k 는 좌측 스피커 신호에 대한 우측 스피커 신호의 음압 레벨비, ϕ 는 음원 우측 채널의 위상 지연, γ 는 머리 회절에 의한 감쇠 계수, θ 는 시간차에 의한 양쪽 귀간 위상 지연, P_0 는 위이도

에 전달되는 음량이다. P_L 과 P_R 이 다음 조건

$$\frac{P_L}{P_R} = \frac{P'_L}{P'_R} \quad (3)$$

을 만족시키면, 청취자는 두 개의 스피커를 통해 재생되는 음상이 단일 음원의 방향에 존재하는 것처럼 느낀다. 여기서 P'_L , P'_R 는 단일 음원이 그림 1에서와 같이 θ_a 의 방향에서 순음을 발생시킬 때 좌우의 외이도 입구에 전달되는 신호이다. 즉, 다음 두 식

$$\frac{|P'_L|}{|P'_R|} \cong \frac{1}{\gamma_{Loc}} \quad (4)$$

$$\angle P'_L - \angle P'_R \cong \phi_{Loc} \quad (5)$$

을 만족시키는 k 와 ϕ 를 구하여 두 스피커로 재생해 주면 음상을 원하는 위치에 위치시킬 수 있다.^[1] 여기서 γ_{Loc} 와 ϕ_{Loc} 는 단일 음원이 한 방향에서 순음을 발생시킬 때 좌우의 외이에 전달되는 신호의 음압 레벨차와 위상차이다.

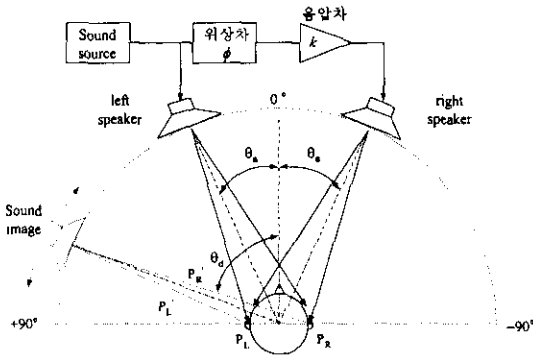


그림 1. 두 개의 스피커에서 나오는 음의 음상

III. 저주파 영역에서의 음상 확대

자연 상태에서의 음압 레벨차 및 위상차^{[5],[6]}와 거의 유사한 γ_{Loc} 와 ϕ_{Loc} 가 되도록 k 와 ϕ 를 계산하여 표 I 에 나타내었다.

표 I. $\theta_s=10^\circ$ 일 때의 음상의 이동을 위한 k 와 ϕ 값

주파수 θ_s	140Hz		310 Hz		500 Hz		1100 Hz	
	k	ϕ	k	ϕ	k	ϕ	k	ϕ
30°	0.49	179°	0.49	179°	0.49	178°	0.76	172°
45°	0.64	179°	0.64	179°	0.67	179°	0.85	172°
60°	0.69	180°	0.72	180°	0.78	180°		
75°	0.73	180°	0.75	180°				
90°	0.74	180°	0.76	180°				

상기 결과를 보면 음상을 가장 확장 시키는 k 와 ϕ 값은 주파수에 따라 다르나 1kHz 이하의 저주파 대역에서 ϕ 값은 180° 부근에 위치함을 알 수 있다. ϕ 를 180° 로 고정하고 음압 레벨비 k 값을 조정해 음상을 원하는 위치에 두는 시스템의 블록도를 그림 2에서와 같이 구현하였다.

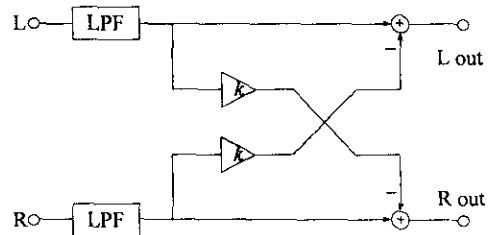


그림 2. 저주파 영역의 위상 처리 시스템 블록도

그림 2에서 두 채널 스테레오 입력 신호 L , R 에 대한 위상 처리 시스템 출력 L_{out} , R_{out} 은

$$L_{out} = L - kR \quad (6)$$

$$R_{out} = R - kL \quad (7)$$

으로 나타난다. 좌우 스피커가 서로 대칭을 이루므로 L 신호만 고려한 ($R=0$) 시스템 출력은

$$L_{out} = L \quad (8)$$

$$R_{out} = -kL \quad (9)$$

로 주어진다. 즉, L_{out} 과 R_{out} 은 위상차 ϕ 가 180° 이고, 음압 레벨차가 k 이므로 좌우의 외이 입구에 전달되는 신호 P_L , P_R 은 식 (1)과 (2)에서

$$P_L = (1 + ke^{-j180^\circ} \cdot \gamma e^{-j\theta}) P_0 \quad (10)$$

$$P_R = (ke^{j180^\circ} + \gamma e^{-j\theta}) P_0 \quad (11)$$

로 주어진다.

ϕ 를 180° 로 고정시켰을 때 식 (10)과 (11)을 이용하여 자연 상태에서 음원의 위치에 따른 양쪽 귀간의 음압 레벨차와 시간차와 일치하는 $|P_L|/|P_R|$ 및 $\angle P_L - \angle P_R$ 을 구하면 음상의 위치를 알 수 있다. 이 방법을 사용

표 II. 음상 위치가 가장 바깥쪽으로 확장되는 k 값

주파수 θ_s	140Hz		310 Hz		500 Hz	
	k	θ_d	k	θ_d	k	θ_d
10°	0.74	90°	0.77	90°	0.78	60°
20°	0.55	90°	0.59	90°	0.60	60°
30°	0.40	90°	0.43	90°	0.50	60°
40°	0.31	90°	0.34	90°	0.43	60°

하여 음상의 위치가 가장 바깥쪽으로 확장되는 k 값을 구하여 표 II에 나타내었다.

29"급 텔레비전 시청거리 (4H-5H)에서의 센터에서 스피커까지의 각 θ_0 는 10° 내외가 되므로 $\theta_0=10^\circ$ 일 때의 k 값에 따른 음상의 이동을 그림 3에 나타내었다.

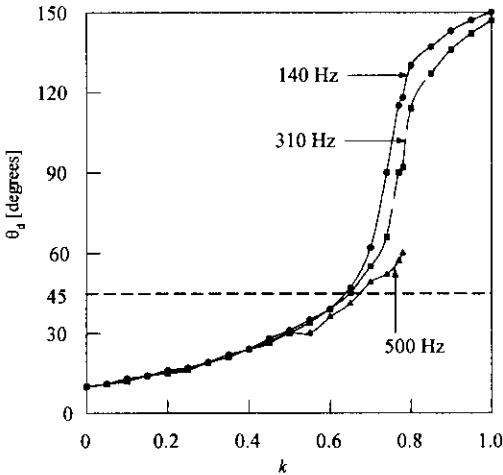


그림 3. k 값에 따른 음상의 위치

여기서 θ_0 가 45° 에서 135° 사이에 있는 경우에는 음원이 45° 방향 또는 135° 의 방향으로 판정하므로^{[1], [6]} 실용적으로 의미가 있는 k 의 값은 θ_0 가 45° 이하일 때이다. k 가 0.5에서 0.7까지의 음상의 이동 정도를 주파수에 따라 나타낼 경우 그림 4에서와 같다. 그림 4에서 k 값이 0.64인 경우 음상을 약 45° 까지 확장시킬 수 있음을 알 수 있다.

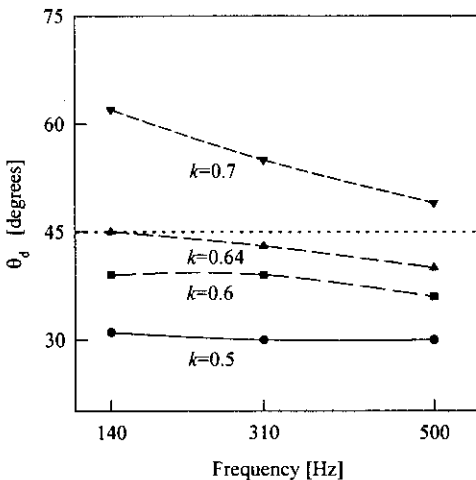


그림 4. 주파수에 따른 음상의 위치

IV. 고주파 영역에서의 음성 확대

1 kHz 이상의 고주파 영역에서의 음원의 위치 판정은 위상차에 의존하지 않고 주로 양쪽 귀간의 음압 레벨차에 의존한다.^{[1], [11]} 1 kHz 이상의 고주파 영역에서는 음원의 위치에 따른 양쪽 귀간의 음압 레벨차가 저주파에서보다 매우 크다. ϕ 값을 가변하면 원하는 음압 레벨차를 얻을 수 있으나, 음상을 가장 확장시키는 ϕ 값이 180° 부근에 위치하는 저주파 영역과 달리 고주파 영역에서는 음상을 가장 확장시키는 ϕ 값이 주파수에 따라 변화가 심하여 이를 실제의 시스템으로 구현하더라도 실용성에 많은 문제가 있다.

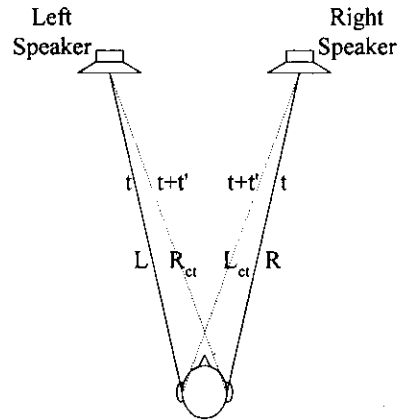


그림 5. 양이간의 시간차

그림 5에서 R_{ct} 와 L_{ct} 는 left speaker에서 왼쪽귀로 바로 가는 L과 right speaker에서 오른쪽 귀로 가는 R보다 시간차 t' 만큼 지연되고 레벨차 γ 만큼 감쇠되어 들리게 된다. 이때 양쪽 귀에 들어오는 R_{ct} 와 L_{ct} 를 감쇠시켜서 양이간의 레벨차를 크게 만들어 음상을 확장시키는 시스템을 그림 6에 나타내었다. 이 때 time delay와 k' 값은 센터에서 스피커까지의 각 θ_0 에 따라 달라진다.

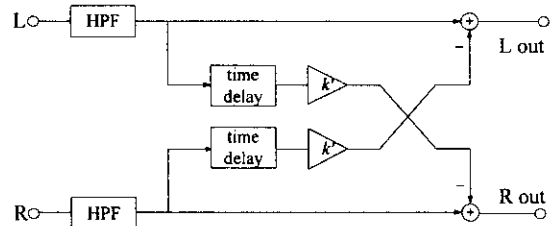


그림 6. 고주파 영역의 레벨차 처리 시스템 블록도

고주파 영역에서의 음원의 위치에 따른 양이간의 시간차는 계산값과 측정값의 차가 거의 없다. 스피커 각 θ_0 에 따른 양이간의 경로차에 의한 시간차를 나타내면 그림 7과 같다.

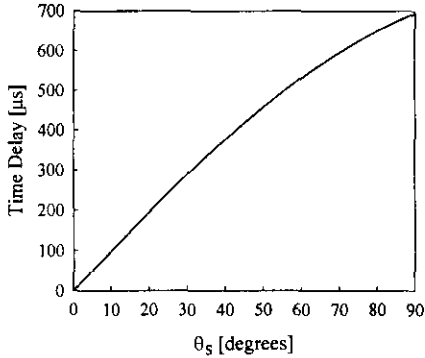


그림 7. 스피커 각에 따른 양이간의 시간차

29"급 텔레비전 시청거리 (4H~5H)에서의 센터에서 스피커까지의 각 θ_s 는 8°-12°가 되므로 time delay는 80 μ s-120 μ s 에서 결정되어야 한다. 이 때 R과 R_c, L과 L_c의 음압 레벨차는 주파수에 따라 차이가 있으나, 1 kHz 이상의 고주파 영역에서 평균 1.5 dB 정도이므로 k' 값은 0.84 이다.

V. 제안 방식

상기 결과를 이용하여 1kHz 이하의 저음은 위상 처리를 이용하여 음상을 확장 시키고, 1kHz 이상의 고음은 레벨차 처리 방식을 이용하여 음상을 확장시키는 방식을 그림 8 과 같이 구성하였다.

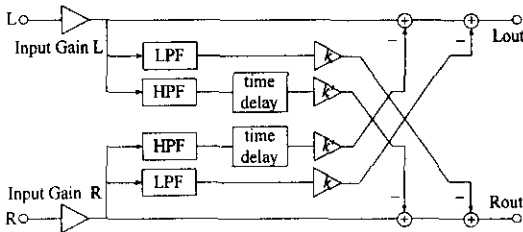
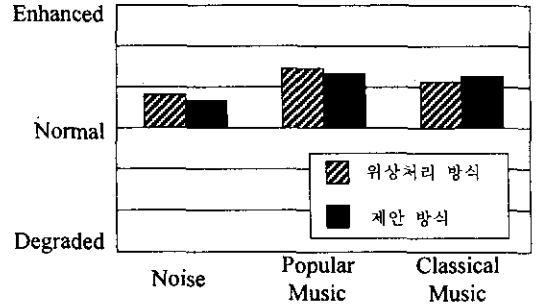


그림 8. 음상 확장 시스템의 블록도

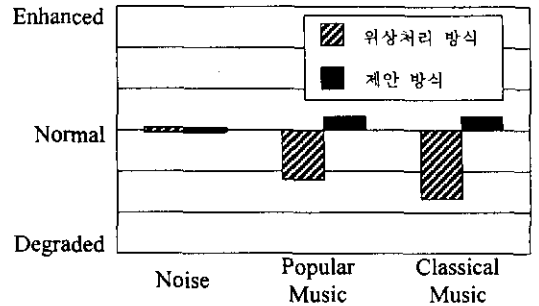
본 시스템은 좌우측 한 개의 스피커로 구성된 대형 구조를 가지며 LPF, HPF, 위상처리 및 지연소자로 구성된다. 저주파 이득 k 는 0.64, 고주파 이득 k' 는 0.84, time delay는 120 μ s 로 두었다.

VI. 실험 결과 및 고찰

제안한 방식의 타당성을 확인하기 위하여 단일 순음과 테스트 신호인 Uncorrelated Stereo Noise, 일반 음악 CD 를 이용하여 음악에 관심이 많은 비전문가 20 명을 대상으로 확장감과 음질에 대하여 청취 실험을 하여 그림 9와 같은 결과를 얻었다.



(a) 확장감



(b) 음질

그림 9. 청취실험 결과

청취 조건은 4 m × 7 m 의 실내 공간에서 텔레비전 시청거리 (4 H~5 H)정도에 청취자가 스피커의 중심 부근에 위치했을 경우이다. Noise 는 전대역 Uncorrelated Stereo Noise 이고 대중 음악은 스테레오 음악을 사용하였고, 고전 음악은 오페라의 합창곡과 베토벤의 교향곡을 사용하였다.

실험 결과에서 확장감 면에서는 기존의 위상 처리만을 이용한 방식과 유사한 정도의 확장감을 가지나, 음질면에서 기존의 위상 처리만을 사용한 방식보다 뛰어난 결과를 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] Tae-Sun Kim, "New real-time implementation of 3-D sound system using TLA algorithm," IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 43, No.3, pp. 671-678, November 1997.
- [2] Sen M. Kuo, "Dual-Channel audio equalization and cross-talk cancellation for 3-D sound reproduction," IEEE Transaction on Consumer Electronics, Vol. 43, No.4, pp. 1189-1196, November 1997.
- [3] Durand R. Begault, "3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia," Academic Press, 1994.
- [4] 中林克己, "テレビ音響多重放送用ステレオ音場擴大器," デレビ誌, 33, 3, 1979.
- [5] 山本武夫, "スピーカシステム(上)," ラジオ技術社, 1976.
- [6] B. Gardner, and K. Martin, "HRTF measurement of a KEMAR dummy-head microphone," MIT Media Lab Technical Report #280, May, 1994.