

# 선착효과 및 위상처리를 이용한 실시간 스테레오 음성 확장 시스템 구현

이 중 철, 이 상 훈, 권 용 대, 한 찬 호, 송 규 익  
경북대학교 전자공학과  
702-701 대구광역시 북구 산격동 1370 번지  
E-mail : ljic@palgong.kyungpook.ac.kr

## Realtime Stereo Sound Image Expansion System Using Hass Effect & Phase Shifting

Jong-Chul Lee, Sang-Hoon Lee, Yong-Dae Kwon, Chan-Ho Han, Kyu-Ik Sohng  
Dept. of Electronics, Kyungpook-National University  
1370 Sankyuk-dong Buk-gu, Taegu, 702-701, Korea

### Abstract

Phase control methods are used to expand the sound image in general AV system. However, these methods are effective only to the signal under 1 kHz, and the listener must be located in front center of the speaker system. In this paper, we realize the realtime processing system in which phase shifting method is dominant at low frequency and precedence effect is dominant at high frequency. Two sound cards are used to process the audio signal in realtime with 16 bits stereo channel of 44.1 kHz sampling frequency. And the analog circuit is designed to process the phase shifting. In experiments the usefulness of the proposed stereo system is confirmed.

### 1. 서 론

AV (audio and video) 시스템에서는ダイ나믹한 영상과 함께 시청자가 가상 현실에 처한 것처럼 느낄 수 있는 입장감 있는 음향이 요구된다. 그러나, 일반 가정에서 텔레비전을 시청할 경우 스피커의 간격이 좁아서 별도의 스피커를 배치하지 않고서는 텔레비전 스피커 사이의 좁은 공간에만 음상(sound image)이 존재하므로 공간감 있는 음향을 청취할 수 없다.<sup>[1],[2]</sup> 공간감 있는 음향 효과를 내기 위해서는 텔레비전 스피커 바깥쪽까지 음상을 정위 시켜야 한다. 이러한 방식에는 일반적으로 위상 처리 방식이 이용된다. 그러나 위상차를 이용한 음성 확장 방식에서는 1 kHz 미만의 저음일 경우에만 효과가 있고, 고음 또는 복합음의 경우에는 효과가 없으며, 음상의 확장이 불가능하다.<sup>[1],[3]</sup> 또한 위상차를 사용한 음성 확장 방식에서는 센터 음의 크기가 감소될 뿐만 아니라, 청취자의 위치가 센터에 고정되어 있을 때에만 효과가 있고<sup>[4]</sup> 청취자의 위치가 변할 경우에도 음상이 원하지 않는 방향으로 정위되는 단점이 있다.<sup>[5]</sup>

본 논문에서는 저음과 고음의 모든 영역에서 음상을 텔레비전 스피커 바깥쪽까지 위치시켜 시청자가 텔레비전을 시청할 때 음상이 확장된 입장감을 느낄 수 있도록 하는 새로운 시스템을 설계하였다. 고음에서 음상을 확장하기 위하여 음상 정위 이론 중 선착 효과(precedence effect, Hass effect)를 이용한다.<sup>[6],[7]</sup> 선착 효과는 동일 음을 발생하는 좌우 두 개의 스피커로부터 청취자의 거리가 다를 때, 또는 시간 지연된 신호가 다른 쪽 스피커에 입력될 때, 귀에 먼저 도착하는 음을 내고 있는 음원 (speaker)에 단일 음상이 느껴지는 현상이다. 본 방식에서는 전면 스피커와 측면 스피커를 사용하고, 측면 스피커에 의한 벽면 반사음이 전면 스피커에 의한 직접음보다 귀에 먼저 도달하도록 하였다. 이렇게 함으로써 좌우 채널의 음상이 양쪽 벽면에까지 확장되도록 하였다. 또한 저음에서의 음성 확장을 위해서는 위상 처리 방식을 사용하였다. 위상 처리에서는 음압 레벨차와 위상차로 음원의 위치를 판단하는 귀의 특성을 조사하여 그 최적치를 구하고 이를 사용하여 음상이 스피커 밖까지 확장 되도록 하였다. 본 논문에서는 3D 음향을 구현하기 위해 지향 특성을 가진 측면 스피커와 고음질을 재현할 수 있는 전면 스피커, 그리고 센터 스피커를 사용하는 최적의 스피커 배치 방법에서 사용할 실시간 신호처리 시스템을 구현하였다. 입력된 아날로그 신호를 두 개의 사운드 카드를 이용하여 필요한 시간 만큼 지연시키고 위상 처리와 센터 신호 생성을 위한 연산을 하여 전면 및 센터 스피커로 내보낸다. 제안한 시스템은 실제로 시청 실험을 하였고, 일반 위상 처리 방식과 그 성능을 비교하였다. 제안 방식은 테스트 신호 뿐만 아니라 일반 오디오 신호에 대해서도 우수한 결과를 나타내었다.

## II. 제안한 시스템

일반적인 텔레비전 오디오 시스템에서, 3D 음향을 재생하기 위하여 위상 처리 방식 및 반사파를 이용하고 센터음을 보강하기 위한 센터 스피커를 구동시키기 위한 블록도를 그림 1에 나타내었다. 텔레비전 오디오 시스템에서의 전면 스피커는 각각 위상 처리 한 신호를 입력으로 사용하였으며, 반사파를 이용하기 위한 측면 스피커쪽으로는 원신호를 입력으로 사용하고 있다. 위상 처리 시스템에서의 센터 음량의 감소를 보강하기 위하여 설치한 센터 스피커의 입력으로 원신호를 위상 처리한 신호를 사용하고 있다. 전면 스피커와 센터 스피커를 구동시키기 위한 위상 처리 시스템에서 시간 지연은 컴퓨터의 사운드 카드를 이용하여 실현하였다. 각 가산기와 버퍼, 반진기, 증폭기는 저잡음 오디오용 OP Amp를 사용하였으며, 가변 저항으로 좌우 레벨의 조정과 k값의 조정이 가능하도록 하였다.

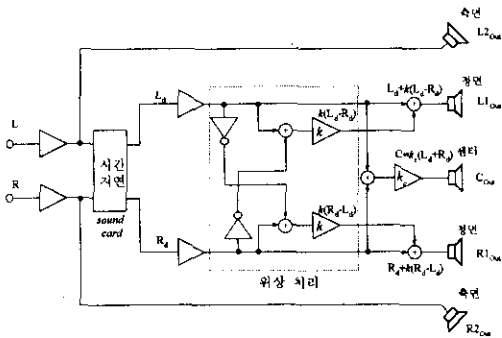


그림 1. 설계한 3D사운드 시스템의 블록도

### 2.1 시간 지연부의 설계

선착효과와 반사파를 이용하기 위해 정면 스피커와 센터 스피커의 신호는 시간 지연이 필요하다. 본 논문에서는 고음질의 음향 재현을 위하여 16bits, 44.1kHz 신호 처리가 가능한 크리에이티브사의 사운드 카드를 사용하여 시간 지연을 시켰다. 사운드 카드는 하나의 채널로 입 출력을 동시에 처리하기 때문에 실시간 신호 처리를 할 수 없으므로 두 개의 사운드 카드를 이용하였다. 두 개의 사운드 카드를 구동 시킬 프로그램의 구조는 그림 2와 같다.

프로그램을 구동하면 record format을 할당한 후 모든 버퍼들이 같은 페이지에 올라갈 때까지 DMA buffer로 사용할 메모리를 할당하는 작업을 반복한다. 이 작업이 완료되면 사운드 카드의 환경 변수를 할당하는데 DMA channel, I/O address port, IRQ number의 모든 값들이 제대로 할당이 되면 PASS를, 아니면 FAIL을 리턴한다. DMA와 DSP chip을 program하여 데이터를 받아들일 준비를 하고 메시지를 출력하여 지연 시간을 입력 받아 처리하여 출력한다. 언제든지 '0'가 입력되면 프로그램을 종료한다.

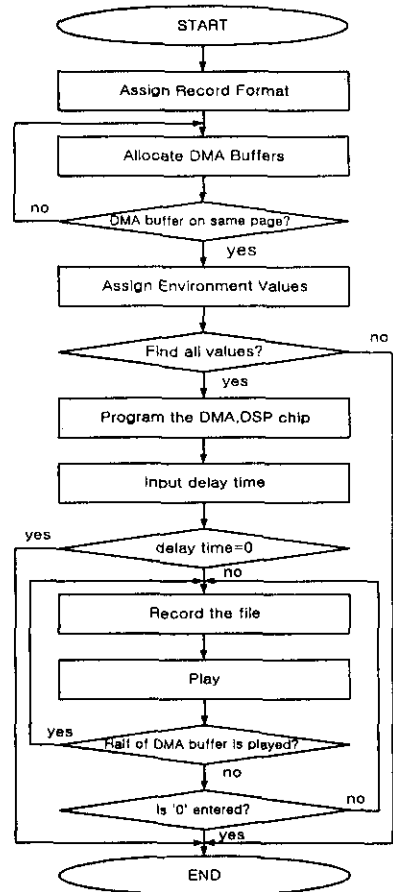


그림 2. 사운드카드 구동 알고리즘

### 2.2 위상 처리부와 센터 신호 생성부의 설계

그림 1에서 두 채널 스테레오 입력 신호  $L, R$ 에 대한 위상 처리 시스템 출력  $L_{out}, R_{out}$ 은

$$L_{out} = L - kR \quad (1)$$

$$R_{out} = R - kL \quad (2)$$

으로 나타난다.

그러나, 실제의 두 채널 스테레오 입력 신호  $L, R$ 은 센터 신호를 포함하고 있으므로  $L, R$ 은

$$L = L_t + C_t \quad (3)$$

$$R = R_t + C_t \quad (4)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서  $L_t$ 는 true  $L$ ,  $R_t$ 는 true  $R$ ,  $C_t$ 는 true  $C$ 성분을 의미한다. 따라서, 식 (3)과 (4)를 식 (1), (2)에 대입하면 시스템 출력  $L_{out}, R_{out}$ 은

$$L_{out} = L_i + C_i - k(R_i + C_i) \tag{5}$$

$$= L_i - kR_i + (1-k)C_i$$

$$R_{out} = R_i + C_i - k(L_i + C_i) \tag{6}$$

$$= R_i - kL_i + (1-k)C_i$$

으로 주어진다. 좌우 스피커가 서로 대칭을 이루므로 L 신호만 고려한 ( $L_i = C_i = 0$ ) 시스템 출력은

$$L_{out} = L_i \tag{7}$$

$$R_{out} = -kL_i \tag{8}$$

로 주어진다. 또한 위상차( $\phi$ )가  $180^\circ$ 이고, 음압 레벨차가  $k$ 일 때 좌우의 외이 입구에 전달되는 신호  $P_L, P_R$ 은

$$P_L = (1 + k e^{-j\phi} \gamma e^{-j\theta}) P_o \tag{9}$$

$$P_R = (k e^{-j\phi} + \gamma e^{-j\theta}) P_o \tag{10}$$

로 주어진다.<sup>[13],[8]</sup>

$\phi$ 를  $180^\circ$ 로 고정시켰을 때 음원의 위치에 따른 양쪽 귀간의 음압 레벨차와 시간차와 일치하는  $|P_L|/|P_R|$  과  $\angle P_L - \angle P_R$ 을 구하면 음상의 위치가 가장 바깥쪽으로 확장되는 값을 알 수 있다.<sup>[9]</sup> 이를 구하여 표 1에 나타내었다.

표 1. 음상 위치가 가장 바깥쪽이 되는 k 값

주파수 $\theta_s$	140Hz		310Hz		500Hz	
	k	$\theta_a$	k	$\theta_a$	k	$\theta_a$
$10^\circ$	0.74	$90^\circ$	0.77	$90^\circ$	0.78	$60^\circ$
$20^\circ$	0.55	$90^\circ$	0.59	$90^\circ$	0.60	$60^\circ$
$30^\circ$	0.40	$90^\circ$	0.43	$90^\circ$	0.50	$60^\circ$

k를 0.5에서 0.7까지의 음상의 이동 정도를 주파수에 따라 나타내면 그림 3과 같다. 한편, 실제의 L과 R 신호는 센터 신호를 포함하고 있으므로 이를 고려해 주어야 한다. 기존의 스테레오 시스템에서 센터 신호만 존재 ( $L_i = R_i = 0$ )한다고 가정하면 식 (3)과 (4)에서 센터 음량 C는

$$C = L + R = 2C_i \tag{11}$$

로 주어진다.

기존의 스테레오 신호 L과 R을 위상처리 할 경우의  $L_{out}$ 과  $R_{out}$ 은 식 (5)와 (6)으로 나타나고, 센터 신호만 존재 ( $L_i = R_i = 0$ )한다고 가정할 때의 센터 음량 C는

$$C = L_{out} + R_{out} = 2(1-k)C_i \tag{12}$$

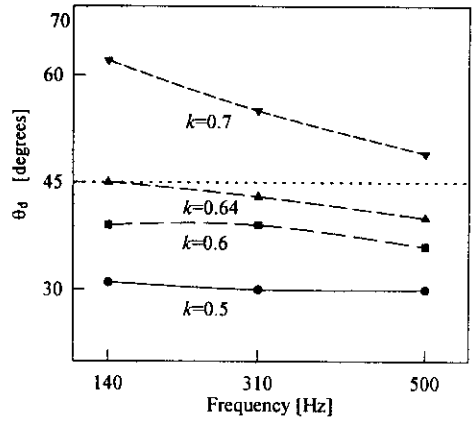


그림 3. 주파수에 따른 음상의 위치

로 주어진다.

일반적으로 이득 k의 값이 1 이하이므로 위상 처리시의 센터 음량은 기존 시스템의 센터의 음량보다 작게 된다. 따라서 센터음의 보강이 필요함을 알 수 있다. 그림 1에서 두 스피커의 출력  $L_{out}$ 과  $R_{out}$ 은 각각 식 (5) 및 (6)과 같이 되고 센터 스피커 출력  $C_{out}$ 은

$$C_{out} = k_c(L + R) = k_c(L_i + R_i) + 2k_c C_i \tag{13}$$

로 주어진다. 여기서 센터 음량을 구하기 위해서 센터 신호만 존재 ( $L_i = R_i = 0$ )한다고 가정하면 스피커의 센터음 출력은  $L_{out} = R_{out} = (1-k)C_i$ 와  $C_{out} = 2k_c C_i$ 이다. 따라서 시청자가 표준 시청거리에서 텔레비전을 시청한다면, 세 스피커와 시청자와의 경로차에 의한 음량의 차이는 무시할 수 있을 정도로 작으므로 센터음량 C는 세 스피커의 출력의 합

$$C = L_{out} + R_{out} + C_{out} = 2(1-k+k_c)C_i \tag{14}$$

로 나타낼 수 있다. 따라서 센터 음량이 보정되기 위해서는 식 (11)과 식 (14)의 C가 같아야 하므로

$$2C_i = 2(1-k+k_c)C_i \tag{15}$$

가 되어야 한다. 따라서, 센터 스피커의 이득은  $k_c = k$ 가 되어야 함을 알 수 있다. 계산한 결과를 이용해 구현한 시스템의 회로도는 그림 7과 같다. 8개의 OP amp와 아날로그 소자들을 이용하여 구현하였다. 버퍼 역할을 하는 u1과 u2를 통해 입력된 좌, 우 지연 신호는 u3에서 센터 신호를 생성하게 되고 가변저항 VR3로  $k_c$  값을 조정할 수 있도록 하였다. 정면 스피커에 사용할 신호는 u7과 u8에서 생성하며 k값은 가변저항 VR1과 VR2를 이용해서 0.5에서 0.7까지 변환할 수 있도록 하였다.

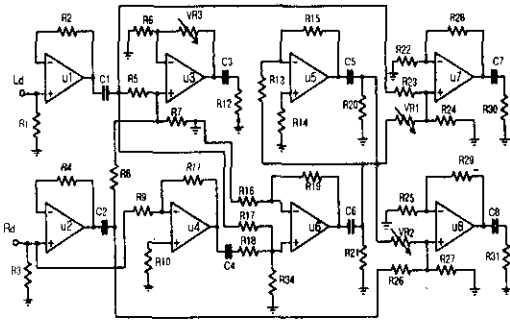


그림 4. 제한한 시스템의 위상처리부의 회로도

### III. 실험 및 결과

설계한 시스템의 성능을 조사하기 위하여 4m x 7m의 실내 공간에 제한한 방식의 구조로 스피커를 설치하였다. 청취자는 스피커와 청취자 사이의 거리 D=3m와 벽면과 스피커 사이의 거리 W=2m 떨어진 곳에 위치하여 음상 확장 효과를 실험하였다. Test 신호로써 백색 잡음을 사용하였고 청취자는 오디오에 관심이 많은 비전문가 20명을 대상으로 하여 ITU-R (International tele-communication union -Recommendation)에서 권고하는 5단계 일대일 비교 척도를 통하여 평가하였다. 각 대역별로 백색 잡음을 기존의 위상 처리 방식과 제안 방식을 상대 평가해 그림 5에 나타내었다. 그림 5에서 저역에서는 위상 처리 방식이 효과가 있음을 알 수 있으나 2000 Hz 이상의 고역에서는 오히려 음상이 좁아지는 경우가 생기는데 제한한 시스템의 경우에는 모든 대역에서 음상 확장이 이루어지는 것을 알 수 있다. 여러 악기의 음악이 동시에 녹음 되어 있는 CD 음악 (Super audio check cd2 - sony)을 듣고 20명의 비전문가를 대상으로 음상의 확장 정도를 측정하여 그림 6에 나타내었다. 이 경우에도 white noise의 경우와 같이 제안 방식의 경우 넓은 공간감까지 갖게 되는 아주 우수한 3D 스테레오 시스템을 확인하였다.

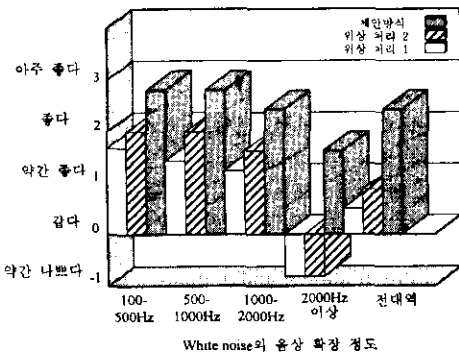


그림 5. 각 대역별 White noise의 음상 이동 그림

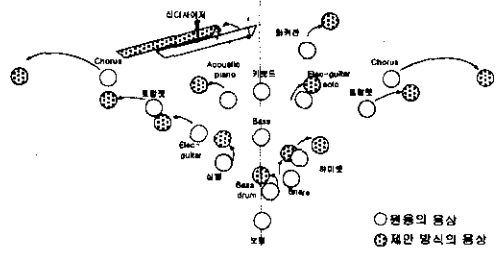


그림 6. 일반 오디오 신호의 음상 확장

### IV. 결론

본 논문에서는 일반적인 위상 처리 방식의 단점을 보완하는 새로운 방법에서 사용할 실시간 처리 시스템을 설계하였다. 시간 지연부의 두 개의 사운드카드에서 쓰일 알고리즘을 개발하고 최적의 위상 처리를 하기 위한 아날로그 시스템을 설계하였다. 그리고 위상차를 이용한 음상 정위 방법은 센터음의 크기를 감소 시키므로 센터 스피커를 도입하여 음상 확장 시스템에서의 센터 음상의 정위와 함께 음압 레벨을 보정하였다. 제안 방식을 실험해 본 결과, 밴드 잡음을 이용한 신호원 및 일반 오디오 신호원에서 일반 위상 처리 시스템보다 제안 방식이 우수함을 알 수 있었다. 특히 텔레비전에서의 재생 신호가 dolby stereo와 같이 음의 방향성이 있는 경우에 제안 방식이 더욱 효과적임을 확인할 수 있었다.

### 참고 문헌

- [1] Durand R. Begault, *3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia*, Academic Press, 1994.
- [2] 강성훈, 강경옥, *임재 음향*, 가전 출판사, pp.201-203, 1997.
- [3] 이영욱, "순음의 위상차에 의한 음상 정위 특성," 경북대학교 전자공학과 석사학위논문, 1997년 12월.
- [4] 中林克己, "テレビ音響多重放送用ステレオ音場擴大器," *テレビ誌*, 33, 3, 1979.
- [5] 青木茂明, 宮田裕之, "音像定位," *電子情報通信學會誌*, vol. 72, no. 8, pp. 860-864, Dec. 1989.
- [6] Mark B. Gardner, "Historical Background of the Hass and/or Precedence effect," *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 43, no. 6, 1968.
- [7] Hans Wallach, "The Precedence Effect in Sound Localization," *Journal of the Audio Engineering Society*, vol. 21, no. 10, Dec. 1973.
- [8] Glyn Alkin, *Sound Recording and Reproduction*, Focal Press, 1991.
- [9] 牧田, NHK 技研月報, 第 6 卷 第 10 號, p.5, 1963