

위상 처리 방식과 선착 효과를 이용한 텔레비전에서의 스테레오 음상 확대

오 제 화, 이 중 철, 한 찬 호, 최 덕 규, 송 규 익

경북대학교 전자전기공학부

대구광역시 북구 산격동 1370 번지

ojh@palgong.kyungpook.ac.kr

Stereo Sound Image Expansion Using Phase Shifting and Precedence Effect in Television

Jae-Hwa Oh, Jong-Chul Lee, Chan-Ho Han, Duk-Kye Choi, Kyu-Ik Sohng

Dept. of Electronics, Kyungpook-National University

1370 Sankyuk-dong Buk-gu, Taegu, 702-701, Korea

Abstract

In television stereo system, to produce a realistic sound effect is very difficult because the distance between stereo speakers is very narrow. Many signal processing methods of widening the sound image for spatial impression have been studied. One of the methods of widening the sound image is using the Precedence Effect by reflected sound. However, this method does not work effectively in lower frequencies because of directivity of a speaker.

In this paper, we propose an effective method of expanding stereo image using Precedence Effect and Phase Shifting method to produce a whole band frequency sound expansion. In experiments, we confirm the usefulness of the proposed stereo sound image expansion system.

커를 두어 전대역에서 음상 확장을 얻을 수 있는 새로운 스테레오 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템에서 저음에서의 음상 확장은 텔레비전 시스템에 적합한 개선된 위상 처리 방식을 이용하였고, 고음에서의 음상 확장은 기존의 선착 효과를 이용한 방식을 사용하여 측면 반사음이 정면의 위상 처리된 음보다 먼저 청취자에게 도달하도록 하였다.

제안한 시스템을 비전문가 20 명을 대상으로 백색 잡음과 베르디의 오페라곡 등을 사용하여 5 단계 평가 방법으로 실험한 결과, 기존의 위상 처리 방식과 선착 효과를 이용한 방식과는 달리 전대역에서 음상이 확장되었으며, 음상의 확장 정도가 기존의 방식보다 더 넓어졌으며, 청취자의 위치가 변하더라도 같은 효과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

I. 서 론

일반적으로 텔레비전의 스테레오 시스템에서 음상의 위치는 양쪽 스피커 사이의 한정된 좁은 영역에 있기 때문에, 청취자는 음상이 넓은 공간감을 느낄 수 없다. 이를 해결 하기 위한 기존의 방식으로는, 인간의 귀의 특성이 음원의 도래 방향에 따라 양이간의 위상차가 다르다는 것을 이용한 위상 처리 방식^{[1][2]}과, 측면 반사음이 정면음보다 먼저 청취자에게 도달하도록 하여 이에 의한 선착 효과를 이용하는 방식^{[3][4]}이 연구되어 왔다. 그러나 위상 처리 방식은 1kHz 이하의 저음에서만 효과가 있고, 청취자의 위치가 고정되어야 한다는 단점^[5]이 있고, 선착 효과를 이용하는 방식은 고음에서의 음상 확장효과는 뛰어나지만 저음에서는 반사음보다 직접음이 청취자에 먼저 도달하므로 음상이 확장되는 효과가 줄어들는 단점^[6]이 있다.

본 논문에서는 텔레비전에서 정면으로 향하는 두 개의 스피커와 양측 벽면으로 향하는 두 개의 측면 스피

II. 선착 효과를 이용한 방식

기존의 선착 효과를 이용한 방식은 벽면의 반사를 이용하여 반사음이 직접음보다 청취자의 귀에 먼저 도달하게 하면 선착 효과에 의해 벽면의 반사음쪽으로 음상을 확장시켜 공간감을 느끼게 하는 방식이다. 즉 그림 1 과 같이 텔레비전의 전면 스피커에 입력되는 신호를 충분히 지연시켜 재생함으로써, 측면 스피커의 음이 선착 효과에 의해 반사음쪽으로 음상이 확장되는 것이다.

그러나, 이 선착 효과를 이용한 방식에서는 측면 스피커에 의한 음은 주파수에 따라 지향 특성^[7]이 다르게 되어, 지향 특성이 공간적으로 넓은 저음에 대해서는 반사되어 들어오는 음보다 청취자에게 직접 들어오는 음이 대부분이므로 음상 확대의 효과가 감소하게 된다. 즉, 스피커의 각도가 벽면쪽으로 향하더라도 저음에 있어서는 벽면에 의한 반사음보다 직접음의 영향으로 청취가 느끼는 음상의 위치는 벽면쪽이 아니라 스피커의 위치가 된다.

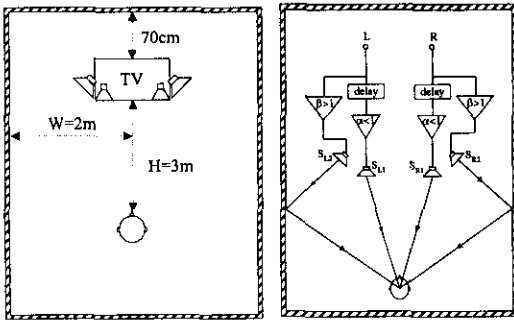


그림 1. 기존의 선차 효과를 이용한 방식

그림 2에서는 스피커의 각도에 따른 지향 주파수 특성을 나타내었다. 그림에서와 같이 1kHz 이상의 고음에서는 각도에 따라 음의 감쇄가 심하므로 직접음의 영향은 거의 없고, 벽면으로 반사되어 들어오는 음이 우세하여 선차 효과가 이루어지지만, 1kHz 이하의 저음에서는 각도에 따라 음의 감쇄가 거의 없어, 측면 스피커의 음이 바로 청취자에게 들어오는 직접음의 효과를 받게 된다. 따라서 선차 효과를 이용한 방식에서는 1kHz 이하 저음의 음상은 확대되지 않는다는 결론이 있다.

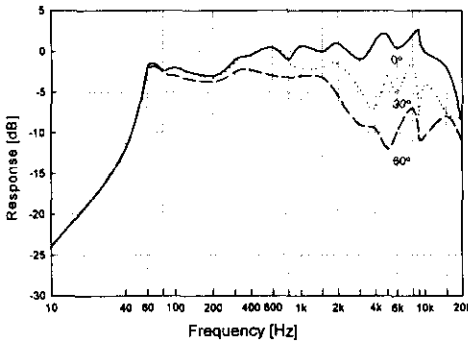


그림 2. Hi Fi 스피커의 지향 주파수 특성 (Pioneer T-66 형 스피커 시스템)

III. 위상 처리를 이용한 방식

인간의 방향 감각에 있어서는 양이에 도달하는 음의 음압 레벨차와 위상차가 근거가 되는데, 위상 처리 방식이란, 인간의 귀의 특성이 음원의 도래 방향에 따라 양이간의 위상차가 다르다는 것을 이용한 것으로 좌우 스테레오음을 스피커로 재생하기 전에 음압 레벨과 위상차를 적절하게 변화시키면 음상을 스피커의 바깥까지 정위시킬 수 있다는 것이다.

그림 3에서와 같이 좌측 신호음을 음압차와 위상차를 주어 우측 스피커에 가하면, 청취자는 좌측 스피커 바깥너머의 위치에 음상이 정위되는 것처럼 느낀다[1][4]. 청취자의 귀에 도달하는 음을 수학적 모델로 나타내기 위해 센터에서 좌우 스피커까지의 각도가 θ , 좌우 스피커의 음압 레벨비가 k 그리고 시간차가 τ 라고 하

면, 순음 신호가 재생될 때 좌우의 위이도 입구에 전달되는 신호 P_L , P_R 은 각각

$$P_L = (1 + k e^{j\phi} \cdot \gamma e^{-j\omega\tau}) P_0 \quad (1)$$

$$P_R = (k e^{j\phi} + \gamma e^{-j\omega\tau}) P_0 \quad (2)$$

로 주어진다. 여기서 k 와 ϕ 는 좌측 스피커 신호에 대한 우측 스피커 신호의 음압 레벨비와 위상차, τ 는 거리에 의한 시간 지연, 음원 우측 채널의 시간 지연, γ 는 머리 회절에 의한 감쇄 계수, P_0 는 위이도에 전달되는 음량이다. 여기서 방향 판정에 근거가 되는 양이간의 음압 레벨차 ΔP 와 위상차 $\Delta\phi$ 는 각각

$$\Delta P = 20 \log \frac{|P_L|}{|P_R|} = 10 \log \frac{1 + k^2 r^2 + 2kr \cos(\phi - \omega\tau)}{k^2 + r^2 + 2kr \cos(\phi + \omega\tau)} \quad (3)$$

$$\Delta\phi = \tan^{-1} \frac{k \sin \phi \cdot (r^2 - 1) - r \sin \omega\tau \cdot (k^2 - 1)}{k \cos \phi \cdot (r^2 + 1) + r \cos \omega\tau \cdot (k^2 + 1)} \quad (4)$$

로 된다. 이 음압 레벨차 ΔP 와 위상차 $\Delta\phi$ 를 인간의 특정 위치에서의 양이간의 ΔP 와 $\Delta\phi$ 로 만족시킨다면 음상을 확장 시키는 것이 가능하다.

그러나, 1kHz 이상의 고주파에서의 방향 판정의 근거는 위상차가 기여하지 못하므로, 위상 처리 방식에서는 1kHz 미만의 저주파에 한정[3]되어, 고주파에서 음상 확대가 이루어지지 못하는 단점이 있다.

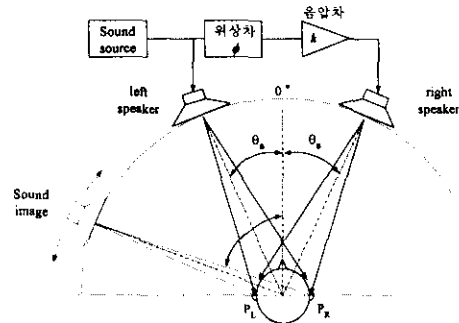


그림 3. 두 개의 스피커에서 나오는 음의 음상

IV. 제안 방식

선차 효과를 이용한 방식으로 고음의 음상을 확대시키고, 위상 처리 방식에서의 저음의 음상을 확대하여 전대역에서 음상을 확대시키는 텔레비전 스테레오 시스템을 그림 4에서와 같이 제안한다.

제안 방식에서는 좌우 두개의 채널과 벽면쪽으로의 두 개의 채널로 모두 4개의 스피커를 사용하여, 측면의 스피커의 음은 선차효과를 이용한 벽면의 반사파를 이용하여 고음의 음상을 확대시키고, 정면의 음은 위상 처리 방식을 이용하여 저음의 음상을 확대시켜 전대역에서의 음상 확대를 이루었다.

그림에서와 같이 측면의 음은 기존의 선차 효과를

이용한 방식을 사용하였지만, 정면의 음은 텔레비전에 적합한 위상 처리를 위한 k 값을 설계하였다. 즉 시청자가 표준 청취 거리(6 H)에 있을 때의 최적의 k 값이 필요하다.

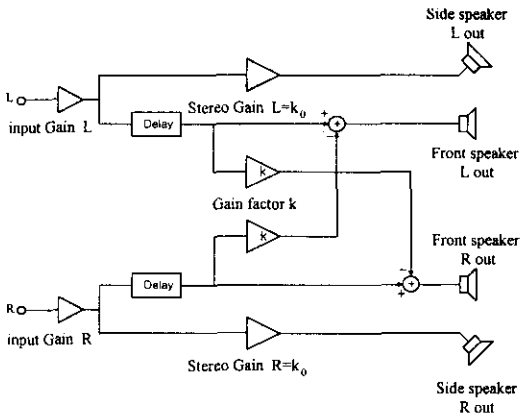


그림 4. 제안방식의 블록도

텔레비전에 적합한 위상 처리를 위한 모델은 그림 5와 같은데, 여기서 텔레비전 표준 시청 거리에서 청취자와 스피커와의 각도를 θ_0 로 두면, 그 값은 약 10° 가 된다. 즉 청취자가 느끼는 일반적인 텔레비전의 음상은 청취자의 위치에서 좌우 10° 사이에 위치하게 되어 공간감을 느끼기 어렵다.

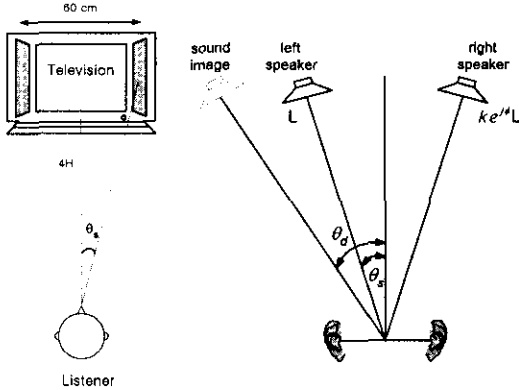


그림 5. 텔레비전에서의 위상 처리 모델

따라서, 음상 확대를 위한 정면 스피커의 위상 처리 모델은 그림 5와 같은데, 여기서 k 값을 얼마로 하느냐에 따라 음상 확대 정도가 달라지게 된다. 최적의 k 값을 구하기 위해, 텔레비전 스피커에서 청취자의 두 귀에 도달하는 음압 레벨차와 위상차를 식(3)과 식(4)에 의해 구하고, k 값을 변화시킨 그래프를 그림 6에 나타내었다.

그림 6에서 점선 부분은 500 Hz의 순음이 임의의 위치에서 음이 들려올 때, 인간의 두 귀간의 음압 레벨차와 위상차를 나타낸 그래프이고, 실선 부분은 제안한 위상 처리의 k 값이 변화할 때, 음압 레벨차와 위상차의 그래프이다.

그림에서 알 수 있듯이 k를 약 0.7로 정면 위상 처리를 한다면, 500 Hz에서는 스피커 각도를 벗어난 약 50° 의 위치까지 음상을 확대시킬 수 있게 된다.

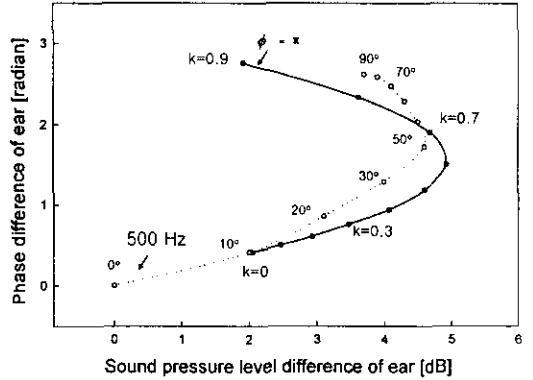


그림 6. 500Hz에서의 위상처리에 의한 k와 θ 값

순음 500 Hz 외의 저음에서의 위상 처리시에 그림 6과 같이 simulation할 때 음상 확대가 최대가 되는 k 값을 구하여 표 I로 나타내었다. 제안 방식의 위상 처리는 k 값을 약 0.7, ϕ 값을 180° 로 하여 음상 확대 시스템을 구성하였다. 따라서 최대의 음상 확대를 위한 정면 위상 처리식의 L' 과 R' 은 각각

$$L' = L - 0.7R \quad (5)$$

$$R' = R - 0.7L \quad (6)$$

로 나타낼 수 있다.

표 I. 음상이 최대로 확대되는 k와 ϕ 값 (위상 처리시)

140Hz		310Hz		500Hz		1100Hz	
k	ϕ	k	ϕ	k	ϕ	k	ϕ
0.5	180°	0.6	180°	0.7	180°	0.8	170°

V. 실험 결과 및 고찰

제안한 시스템의 음상의 이동 또는 확장 정도를 정확하게 평가하는 것은 매우 어렵다. 음 또는 음향 시스템의 좋고 나쁨을 최종적으로 판단하는 것은 인간이기 때문이다. 따라서 음상의 확장 정도의 판단을 적절하게 하기 위해서 ITU-R 권고 BS.562-3(음의 품질 평가법)에 의거하여 5단계 일대일 비교 척도를 통하여 실험하였다. 음상의 확장 정도를 표II와 같이 5단계로 나누어 점수를 주었다.

표II. 5단계 음상 이동 척도

점수	확장 정도
2	매우 넓다
1	넓다
0	같다
-1	좁다
-2	아주 좁다

제한한 방식의 타당성을 조사하기 위하여 그림 7 과 같이 4m x 7m 의 실내 공간에서 제한한 방식의 구조로 스피커를 설치하였다. 청취자는 스피커와 청취자 사이의 거리 D=3m 와 벽면과 스피커 사이의 거리 W=2m 떨어진 곳에 위치하여 음상 확장 효과를 실험하였다.

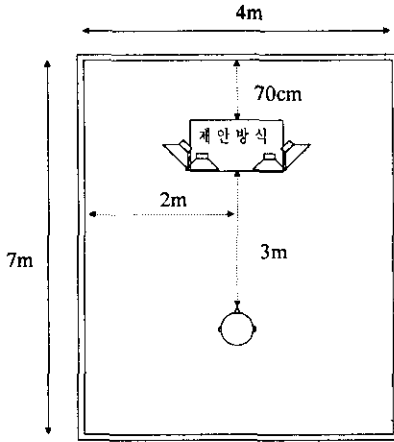


그림 7. 제한 방식의 실험을 위한 방의 구조

그림 8 과 같이 Test 신호로써 백색 잡음을 사용하였고, 청취자는 오디오에 관심이 많은 비전문가 20 명을 대상으로 하여 표 II 에서와 같은 5 단계 일대일 비교 척도를 통하여 평가하였다. 각 대역별로 백색 잡음을 기존의 선착 효과를 이용한 방식과 제안방식을 상대 평가하여 나타내었다.

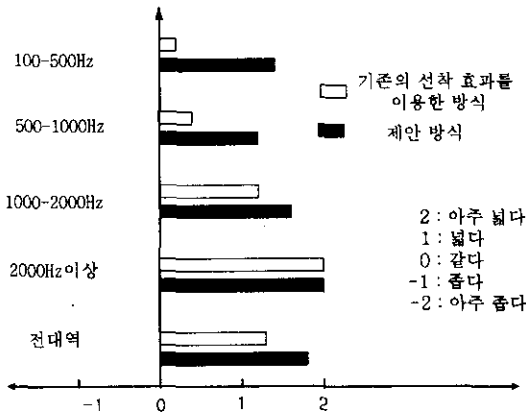


그림 8. 제안방식과 기존의 선착 효과를 이용한 방식의 White noise 의 각 대역별로의 음상 확대 정도

그림 9 에서는 음악을 Test 신호로 사용하여 위상 처리 방식과 제안 방식을 상대 평가 하여 그림으로 나타내었다. 제안 방식이 위상 처리 방식보다 음상 확장 정도가 크다는 것을 알 수 있다.

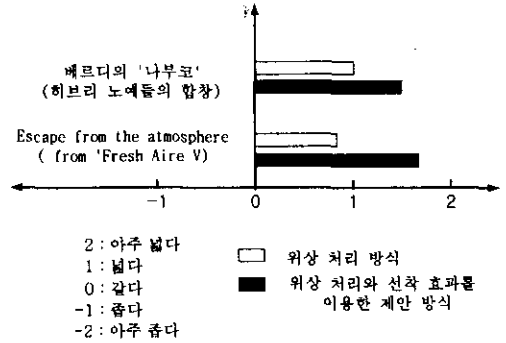


그림 9. 위상 처리 방식과 제안 방식의 음상 확대 정도

본 논문에서 제한한 시스템의 실험 결과, 그림 8 과 그림 9 에서 나타난 것처럼 기존의 방식보다 우수한 음상 확대를 이루었다. 즉 텔레비전 시스템에서 고음에서는 선착 효과에 의한 음상 확대를 이룰 수 있었고, 저음에서는 위상 처리 방식에 의해 음상 확대를 이루는 전대역에서 음상 확대가 가능한 시스템임을 확인할 수 있었다.

참고 문헌

- [1] 中林克己, “テレビ音聲多重放送用ステレオ音場擴大器,” テレビ誌, 33, 3, 1979.
- [2] 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.
- [3] 송규익, 이진일, *음향재생과 청각심리*, 경북대학교 전자전기공학부, 1998.
- [4] Durand R. Begault, *3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia*, Academic Press, 1994.
- [5] 이용수, “선착 효과 및 반사음을 이용한 스테레오 음상 확대,” 경북대학교 전자공학과 석사학위논문, 1997년 12월.
- [6] 이영욱, “순음의 위상차에 의한 음상 정위 특성,” 경북대학교 전자공학과 석사학위논문, 1997년 12월.
- [7] 山本武夫, *スピーカシステム(上)*, ラジオ技術社, 1952.
- [8] 강성훈, *방송 음향*, 기전출판사, 1997.
- [9] 강성훈, 강경옥, *입체 음향*, 기전출판사, 1997.
- [10] 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.