한국지능시스템학회 논문지 2008, Vol. 18, No. 3, pp. 381-386

현실감있는 입체음향 생성을 위한 머리전달함수의 개선

Improvement of Head Related Transfer Function to Create Realistic 3D Sound

구교식* · 차형태*
Kyo-Sik Koo and Hyung-Tai Cha
* 숭실대학교 전자공학과

요 약

최근 게임, 멀티미디어 콘텐츠, 가상현실 등을 제공하는 멀티미디어 장치에서 2개의 스피커나 헤드폰을 이용하여 3차원 입체 음향효과를 내고자 하는 가상 입체음향 기법에 관한 연구가 많이 이루어지고 있다. 가상 입체음향 기법 중 가장 대표적인 것으로는 소리가 음원으로부터 청자의 두 귀에 이르는 정보를 포함하고 있는 머리전달함수를 사용하는 방법이 있다. 그러나 이 방법은 혼돈원추 상에서 음상정위의 혼돈을 주게 됨으로서 입체감이 저하된다는 단점이 있다.
본 논문에서는 인간의 청각특성에 따른 여기에너지를 이용하여 현실감있는 입체음향을 생성하는 알고리즘을 제안하고자 한다. 서로 대칭되는 각 머리전달함수의 여기에너지를 계산하고 각 bark 대역에 따른 비율을 추출한 후 앞방향에 해당하는 머리전달함수의 저주파 영역을 보상해줌으로서 스펙트럼 특성을 부각시키는 새로운 방법을 제안하였으며 청감테스트를 통하여 제안한 방식이 기존의 방법보다 방향감을 개선시킴을 확인할 수 있었다.

키워드 : 머리전달함수, 심리음향, 입체음향, 바이노럴 시스템, 가상현실

Abstract

Virtual 3D audio methods that create 3D sound effects are researched highly for multimedia devices using 2 speakers or headphone. The most typical method to create 3D effects is a technology through use of head related transfer function (HRTF) which contains the information that sound arrives from a sound source to the ears of the listener. But it can decline some 3D effects by cone of confusion between front and back directions due to the non-individual HRTF depending on each listener.
In this paper, we propose a new method to use psychoacoustic theory that creates realistic 3D audio. In order to improve 3D sound, we calculate the excitation energy of each symmetric HRTF and extract the ratio of energy of each bark range. Informal listening tests show that the proposed method improves the front-bach sound localization characteristics much better than the conventional methods.

Key Words : Head related transfer function, Psychoacoustic theory, 3D Sound, Binaural system and Virtual reality.

1. 서 론

단일 채널 음향 재생에서 시작한 사운드 관련 기술은 나날이 발전하는 멀티미디어 기술에 따라서 2채널의 스테레오 음향 재생에서 벗어나 보다 현실감있는 사운드를 생성하기 위하여 3차원 입체음향 시스템으로 발전하고 있다. 일반적으로 입체음향이란 모노음에 음의 고저, 음색 뿐만 아니라 방향감 및 거리감까지 포함시켜 가상의 음원을 3차원 공간상에 임의로 위치시키는 것을 의미한다[1]. 현재 DVD 표준과 함께 다채널로 입체음향을 구현하는 5.1 채널방식은 보편적으로 적용되는 입체음향 구현 방법이다. 그러나 5.1 채널 방식은 최소 5개의 스피커와 임장감을 제공하기 위한 서브우퍼 스피커 등이 필요로 하기 때문에 비용이나 공간상의 문제가 발생하게 된다. 따라서 2개의 채널로 입체음향을 구현하는 바이노럴 시스템이 주목을 받고 있다. 2채널로 입체음향을 재생하는 방법으로 사람의 머리와 귓바퀴를 모델링하여 사람이 두 귀로 방향과 거리를 인지하는 원리와 같은 방법으로 입체음향을 재생하는 것이 머리전달함수(HRTF : Head Related Transfer Function)를 이용한 입체음향 재생방법[1,2,9,10]을 들 수 있다. 머리전달함수란 음원으로부터 소리가 인간의 두 귀에 도달하는 정보를 담고 있는 것으로 일반적으로 무향실 내에서 사람의 귀 모양 안에 설치된 더미헤드 마이크로폰을 이용하여 임펄스 응답을 측정하고 이것들을 각 방향에 따라 데이터베이스화 한 것이다[1,2,4-13]. 머리전달함수를 이용하여 입체음향을 구현하기 위해서는 모노음원과 머리전달함수와의 컨벌루션 연산을 수행하게 되며 이를 통해 원하는 방향에 음상을 정위시키고 거리감까지 조절할 수 있다[13]. 그러나 머리전달함수가 아무리 정확한 값을 가지고 있다 하더라도 청자들의 신체적인 특징이나 여러 요인들이 개인마다 특성이 고유하므로 비개인화된 HRTF를 사용하게 된다면 입체음향 시스템의 성능이 저하된다. 특히 음원과 청자의 두 귀 사이의 거리가 같은 혼돈원추상에서는 시간이나 레벨의 차로서는 정

접수일자 : 2007년 7월 31일
완료일자 : 2007년 12월 15일
교신저자 : 차형태
본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음

확한 방향을 인지할 수 없다[7].

따라서 본 논문에서는 앞/뒤 음상정위의 혼돈을 개선하기 위한 알고리즘을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 머리전달함수를 이용한 입체음향 생성 알고리즘을 설명하고 제 3장에서 제안한 알고리즘에 대해 설명한다. 이어 제 4장에서 시뮬레이션에 관한 결과를 제시하며 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺도록 한다.

2. 머리전달함수를 이용한 입체음향 생성

소리가 인간의 3차원 공간의 어떤 위치에서 방사될 때 청취자는 방사 음원의 위치를 지각하게 된다. 인간이 어떻게 3차원 음향공간을 인지하는가에 대해서는 지금까지 수많은 연구가 이루어져 왔는데 머리전달함수(HRTF)가 이를 가장 잘 설명하는 것으로 알려져 있다[12]. 일반적으로 머리전달함수는 자유음장(Free Field)에서 일정한 입사각으로 사람의 외이도(Ear Canal)에 이르는 소리를 표현하는 전달함수를 말하며 가상현실 응용시스템이나 가청(Auralization) 시스템의 바이노럴 신호 합성에 이용된다. 3차원 공간상에서 정 중앙에 청취자가 있을 경우 음원의 방향은 방위각(Azimuth)과 고도각(Elevation)에 의해 지정된다[4,12].

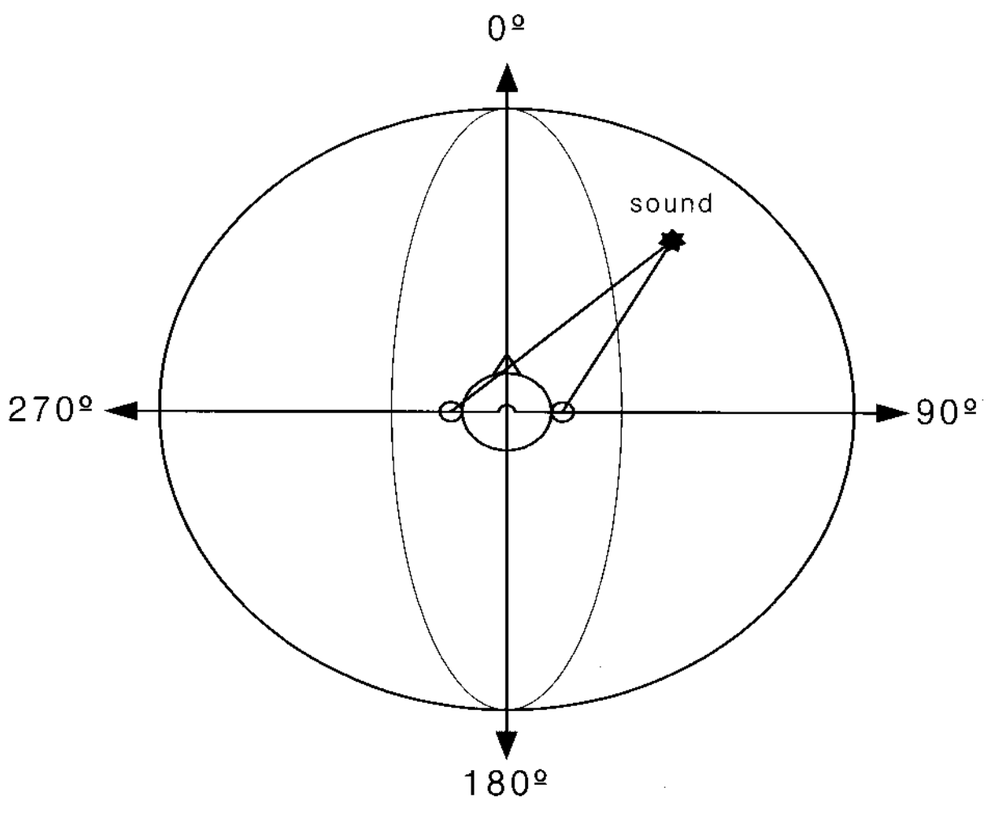


그림 1. 3D 공간상의 음원 배치
Fig. 1. Sound localization in 3D space.

인간의 청각 시스템이 수평면에 대하여 음원의 방향을 지각할 수 있는 주요인은 두 귀에 들어오는 소리의 세기차(IID : Interaural Intensity Difference)와 시간차(ITD : Interaural Time Difference)이다. 그림 2는 MIT Media Lab.에서 KEMAR 더미 헤드를 사용하여 측정한 HRTF DB 중 0°, 방위각 60° 에 해당하는 HRIR(Head Related Impulse Response) DB를 나타낸다.

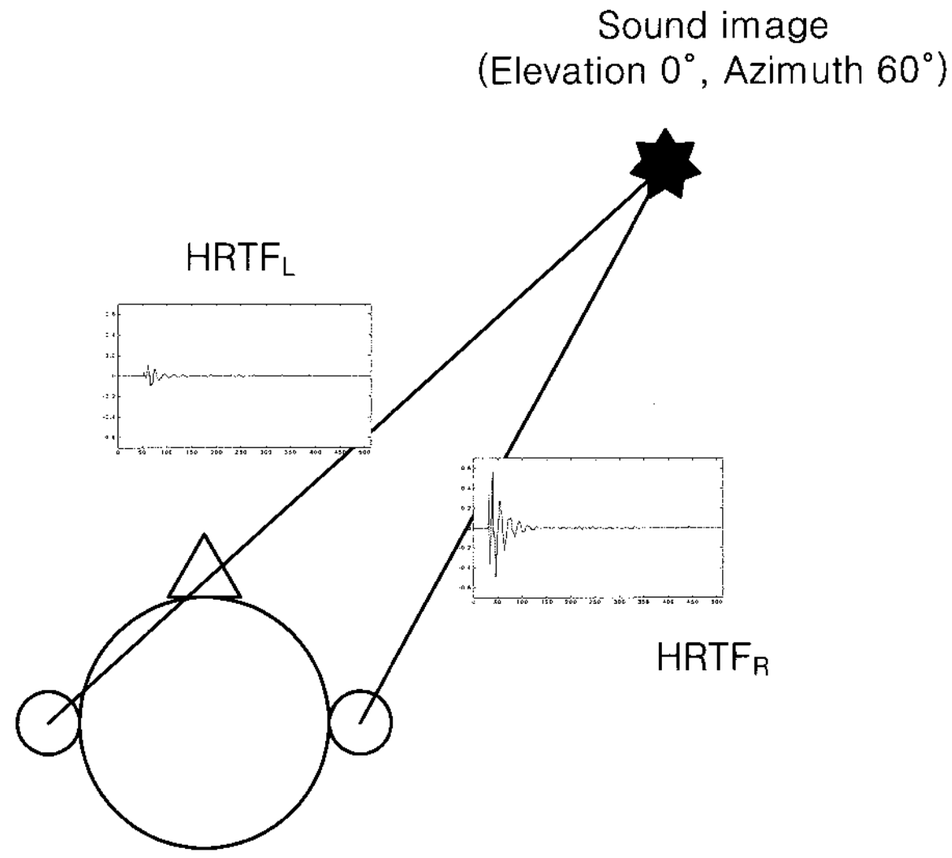


그림 2. 고도 0° & 방위각 60° 에서의 HRIR DB
Fig. 2. HRIR DB of azimuth 60° & elevation 0°

방위각 60°에서는 음원이 오른쪽에 귀에 더 가까우므로 오른쪽 귀에서 응답이 빨리 발생하며 음의 크기도 오른쪽이 크게 된다. 즉 HRTF를 이용하여 두 귀 간의 ITD와 IID를 파악할 수 있다[12]. 더불어 방향 지각에는 ITD와 IID 뿐만 아니라 여러 다른 단서들을 언급할 수 있는데 예를 들어 사람의 몸통, 머리 그리고 귓바퀴로부터의 반사와 회절 등을 들 수 있다. 이러한 단서들을 포괄적으로 담고 있는 것이 머리전달함수이며 모노음과의 컨벌루션 연산을 통하여 방향감을 부여한다[5].

$$Z_L = S * HRTF_L(\theta, \phi)$$
$$Z_R = S * HRTF_R(\theta, \phi) \quad (1)$$

여기서 Θ과 Φ는 특정한 방위각과 고도각을 의미하며, S와 Z_i 는 모노음원, 가상적으로 생성된 음원에서 두 귀까지의 전달함수를 나타내고 있다.

일반적인 방향지각에서 귀는 수평으로 배열되어 있으므로 좌우 방향 판별 능력이 좋은 것을 쉽게 이해할 수 있다[11]. 그러나 정중앙면(위, 아래, 정면, 후면) 내에 있는 음원은 머리의 약간의 좌우 비대칭을 무시한다면 두 귀에 입사하는 소리의 ITD와 IID가 없기 때문에 방향 판별이 어렵게 된다. 인간의 신체는 사람에 따라서 다르므로 각 방향의 음원에 대한 전달함수 특성은 개인마다 각각 특징을 갖는 형태가 된다. 따라서 완벽한 입체음향을 구현하기 위해서는 사용자 고유의 머리전달함수를 측정하여 이를 입체음향 프로세싱에 적용시켜야 한다. 그러나 이것은 사실상 불가능하다고 할 수 있다[5]. 먼저 개인의 머리전달 함수를 측정하는 일이 매우 번거로운 일이고 일반인이 사용하게 될 애플리케이션 프로그램으로서 사람마다 다양한 조건을 충족시키는 것은 어렵기 때문이다. 따라서 최근의 이 분야에서는 머리전달함수의 차이에서 오는 음상정위의 오차를 최소화시키려는 연구가 활발히 진행되고 있다.

3. 심리음향을 이용한 머리전달함수의 보정

전/후 방향지각의 혼돈을 개선하기 위한 기존의 방법으로는 머리전달함수를 5개의 대역으로 나누어 각 방향에 따라 저주파 대역은 8dB, 고주파 부분은 12dB를 증폭/감쇄시킨 후 원 머리전달함수와 컨벌루션을 수행하여 개선된 머리전달함수를 획득하는 방법이 있다[8].

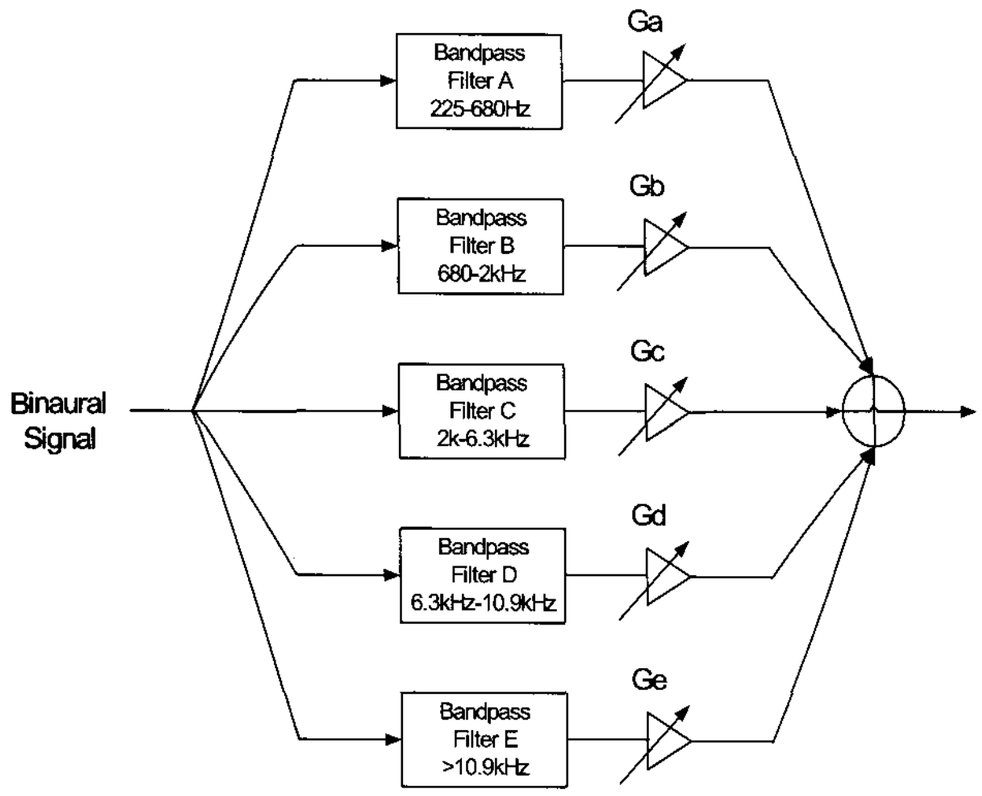


그림 3. 필터뱅크 방식
Fig. 3. Filterbank method.

이는 전/후 방향지각에 관련된 특징이 특정 주파수 대역에 있다는 심리음향의 특성을 이용하지만 각 방향에 따른 머리전달함수의 특성을 고려하지 않고 고정된 대역을 조절하기 때문에 특정 부분에 모노 사운드의 에너지가 과도하게 집중되어 있을 경우 음질의 열화 및 방향감 상실을 가져오게 되는 주요 원인이 된다.

많은 연구 결과에 따르면 특정 주파수 대역이 앞/뒤 방향지각에 영향을 미치는 스펙트럼 단서가 되며 이 대역을 방향 결정 대역이라 한다[5,13]. 즉 음원 방향에 관계없이 고막에 도달하는 신호의 스펙트럼에서 강조된 주파수 대역과 일치하는 방향 결정대역의 방향에 음상이 정위되게 된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 스펙트럼 특성을 심리음향을 이용하여 보정하고자 한다.

먼저 머리전달함수의 주파수 스펙트럼을 이용하여 음상을 정위시키고자 하는 방향, a의 머리전달함수 $HFTF_a$ 및 방향지각에 혼돈을 일으키는 a의 대칭방향, b의 머리전달함수 $HRTF_b$의 각 임계대역 에너지, $cband_e_a(z, i)$, $cband_e_b(z, i)$를 계산한다[5].

이어 임계대역 에너지, $cband_e_a(z,i)$와 신호 에너지의 확산 현상을 나타내는 지각적인 에너지 확산 함수를 통해 컨벌루션을 취함으로서 기저막에서의 신호에너지에 대한 응답인 청각자극 에너지, $exci_e_a(z, i)$를 계산한다[5]. 마찬가지로 b 방향에 대한 청각자극 에너지 $exci_e_b(z, i)$를 계산한다. 머리전달함수가 고막에 도달하면 우세한 방향 결정대역에 따른 절대 가청 한계나 마스킹 현상 등의 청각특성으로 인하여 각 임계대역에 미치는 영향이 달라진다.

다음으로 a와 b방향의 각 청각 자극 에너지의 비율을 계산하여 각 임계대역에 대한 가중치, $rate_a(z, i)$를 생성한다.

$$rate_a(z,i) = \frac{exci_e_a(z,i)}{exci_e_b(z,i)} \tag{2}$$

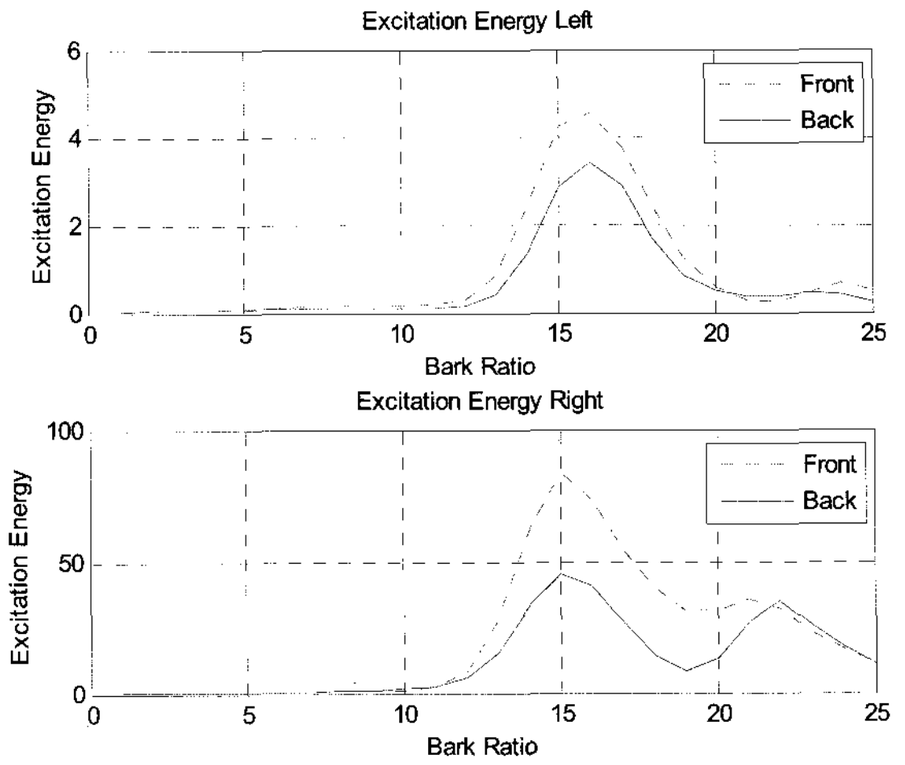


그림 4. 청각자극 에너지 (60° & 120°)
Fig. 4. Excitation energy of HRTF (60° & 120°).

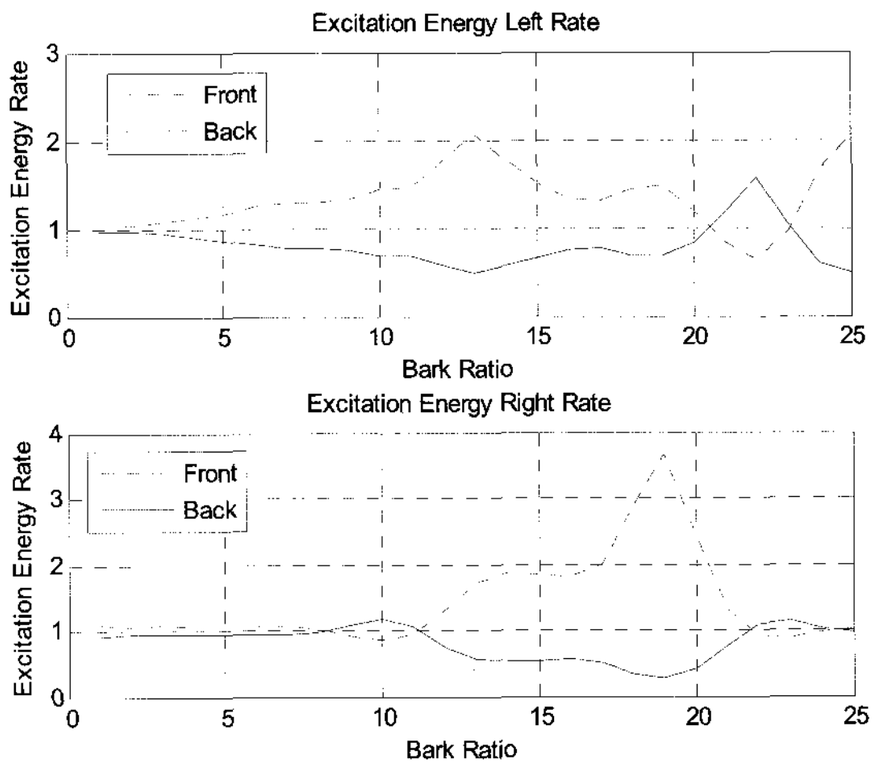


그림 5. 청각자극 에너지 비율 (60° & 120°)
Fig. 5. Rate of excitation energy (60° & 120°).

그림 5는 고도 0°에서 방위각 60°에 대한 가중치를 나타낸 것이다. 음상을 90° 또는 270° 방향으로 이동시킬수록 머리의 영향으로 먼 쪽의 귀보다 가까운 쪽의 귀에 도달하는 신호의 세기의 차는 저주파 대역에서는 별 차이가 없지만 고주파 대역에서는 세기의 차이가 발생하게 된다. 따라서 인간의 청각에 미치는 영향도 달라지므로 음상을 정위시키고자 하는 방향에 따라 가중치는 다르게 계산된다.

계산된 가중치는 각 방향에 따른 피크나 노치 등을 강조시켜 청각에너지 차이를 부각시키기 위하여 원 $HRTF_a$에 적용되어진다.

$$HRTF_a'(f_z,i) = HRTF_a(f_z,i) \times rate_a(z,i) \qquad 0 \le z \le Z-1 \tag{3}$$

여기서 f_z는 각 임계 대역에 해당하는 주파수 범위를 의미한다.

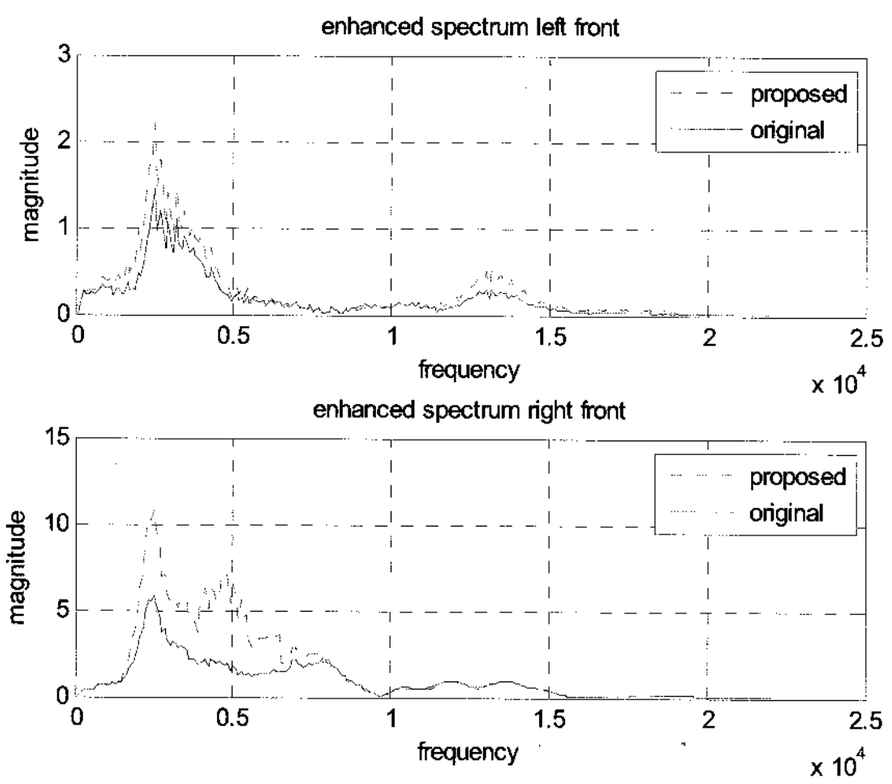


그림 6. 증폭/감쇄된 머리전달함수 (60°)
Fig. 6. Amplified/Attenuated HRTF (60°).

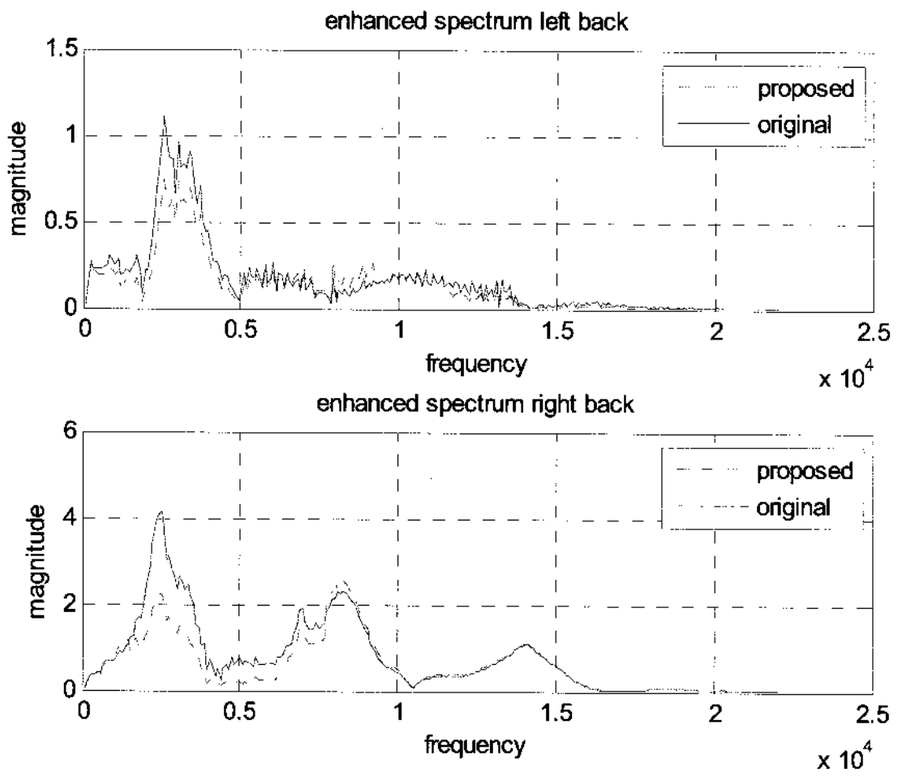


그림 7. 증폭/감쇄된 머리전달함수 (120°)
Fig. 7. Amplified/Attenuated HRTF (120°).

그러나 심리음향을 이용하여 증폭/감쇄한 머리전달함수는 저주파 부분의 방향 결정대역에 대해서는 거의 고려하지 않는다. 인간의 신체 중에서 귓바퀴는 음을 집음하고 공간 음향의 지각 역할을 맡게 되는데 25°~45° 정도 바깥쪽으로 돌출되어 있어 "shadow zone"을 발생시키며 음의 성질에 변화를 주게 된다. 이를 토대로 "shadow zone" 때문에 앞 방향에서 저주파 대역이 뒷 방향보다 약간 우세하다는 연구결과[6]를 이용하여 저주파 부분의 이득을 제어하는 알고리즘을 추가한다. 그림 8은 제안된 머리전달함수 보정 알고리즘을 보여준다.

그림 8에서 저주파 대역 에너지 이득을 제어하는 알고리즘은 저주파 대역의 방향 결정대역을 강조하기 위한 방법으로 1차로 증폭/감쇄된 머리전달함수의 방향이 앞 방향에 해당할 때 적용이 된다. 거시적으로 머리전달함수를 볼 때 전방의 음원의 경우에는 일반적으로 4kHz 부근의 성분이 비교적 강하고 위 방향의 경우에는 8kHz 부근의 음이 강한 경향이 있다. 그 결과 스피커가 실제로는 다른 방향에 있어도 4kHz 부근의 성분의 우세한 음은 전방에서 들리는 경향이 있으므로 이러한 점을 이용하여 방향성을 증가시키게 된다. 저주파 대역의 에너지 이득을 제어하는 알고리즘은 식 4와 같다.

$$\begin{aligned} enHRTF_{\alpha} &= HRTF'_{\alpha}(f,i)\times\tau \quad where\ f \le 5kHz \\ enHRTF_{\alpha} &= HRTF'_{\alpha}(f,i) \qquad\qquad otherwise \end{aligned} \tag{4}$$

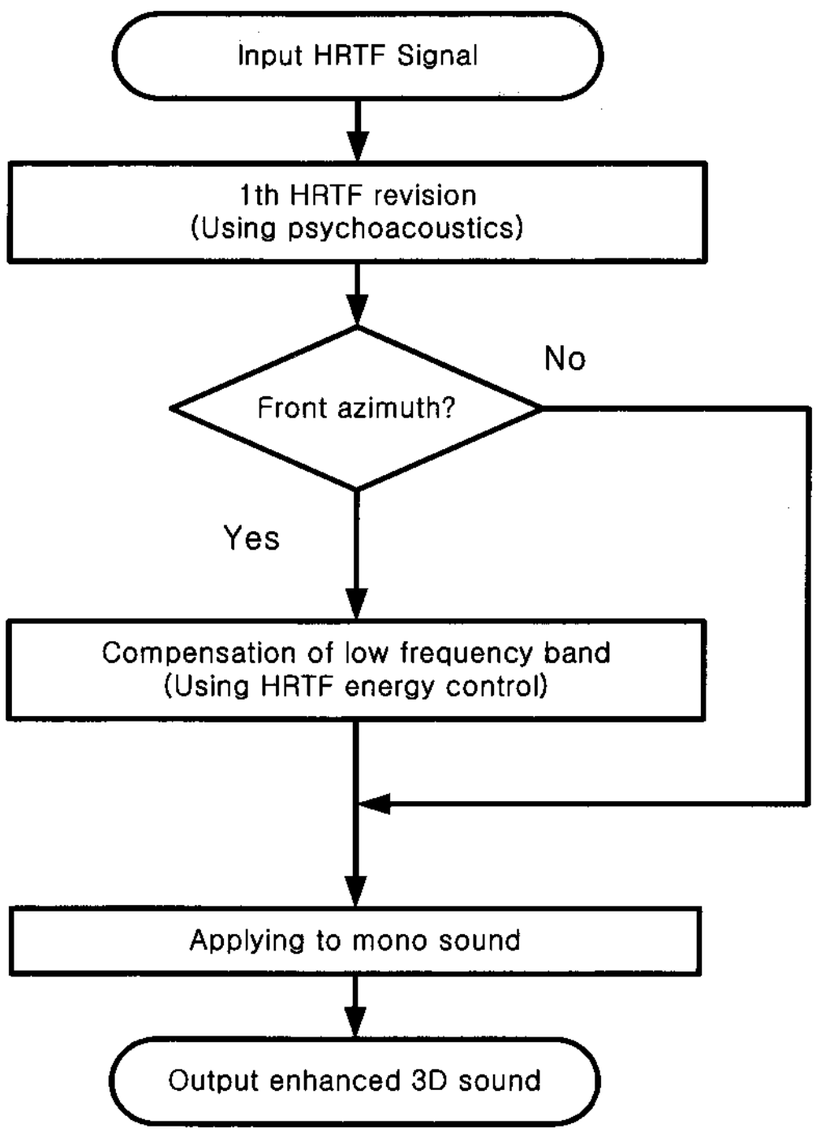


그림 8. 머리전달함수 보정 알고리즘
Fig. 8. Revision Algorithm of HRTF.

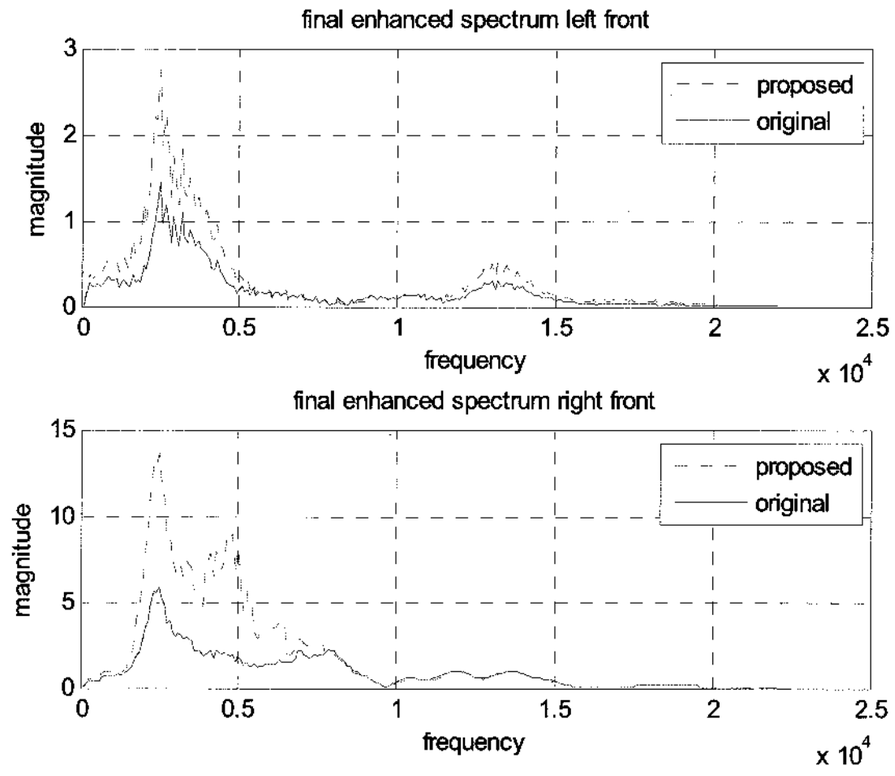


그림 9. 최종 개선된 머리전달함수 (60°)
Fig. 9. Final enhanced HRTF (60°).

여기서 τ는 저주파 이득 파라미터로서 음상이 0°에 위치

할 경우에는 4dB, 30°에서 60° 사이에 위치할 경우에는 2dB이다. 이 값은 실험으로 얻어낸 값이다. 음상을 위치시킬 각도가 90°에 근접할 경우 서로 대칭되는 두 방향에서 전달되는 에너지는 귓바퀴의 영향이 적어지게 되므로 이득값이 작지만 음상의 각도가 정면 또는 후면에 근접할 경우에는 귓바퀴의 영향이 커지게 되므로 상대적으로 큰 저주파 이득 값을 가지게 된다.

이렇게 보정된 머리전달함수는 모노음에 적용되어 각 방향에 따른 스펙트럼 단서를 부각시키게 된다. 이를 토대로 모노음에 개선된 방향감을 부여함으로써 한층 더 현실감 있는 입체음향을 구현할 수 가 있다.

$$3D\ Sound = enHRTF_{\alpha} * Sound_Source \quad (5)$$

4. 시뮬레이션 및 결과 고찰

실험에 사용된 신호들은 일반 영화 DVD 및 오디오 CD로부터 획득한 44.1kHz의 샘플링 주파수와 16bit/sample의 정밀도를 갖는 사운드 신호를 사용하였다.

머리전달함수는 MIT Lab.에서 측정한 DB를 사용하였으며 사운드 신호 재생을 위한 장비로서 헤드폰(audio-technica ATH-ES7)을 사용하였다. 그리고 사용자가 사전에 음원의 종류를 인지하지 못하도록 하기 위해 청취자와 실험에 사용된 컴퓨터와의 거리를 두었으며 랜덤한 순서로 입체음향을 재생하였다.

표 1. 사운드 소스
Table 1. Sound source

Source 1	Vocal
Source 2	Helicopter
Source 3	Classic

보정된 입체음향의 개선 결과를 보기 위해 기존의 2가지 방법과 비교를 수행하였다. 비교대상은 원 머리전달함수 및 고정적인 주파수 대역별로 이득을 부여하는 방식으로서 0°/180°, 30°/150°, 45°/135°, 60°/120°의 네 방향에 대해서 테스트를 실시하였다.

4.1. 입체음향 개선 결과

첫 번째 테스트로서 청취자가 음상이 정위된 각 방향에 대해 얼마나 정확하게 인지하는가에 대한 테스트를 진행하였다. 테스트 방법은 오디오 전문 분야에 종사하지 않는 남녀 10명을 대상으로 하여 입체음향을 들려준 후 인지하는 방향에 대한 정확도를 체크하였다. 오차는 ±10°로 하였다.

표 2. 음상정위 테스트 - 원 HRTF
Table 2. Sound localization test - Original HRTF

Source	0°/180°	30°/150°	45°/135°	60°/120°
Source 1	18%	68.8%	62.5%	56.3%
Source 2	25%	37.5%	37.5%	56.3%
Source 3	37.5%	37.5%	37.5%	37.5%
Average	26.8%	47.9%	45.8%	50%

표 3. 음상정위 테스트 - 기존 알고리즘
Table 3. Sound localization test - Existing algorithm

Source	0°/180°	30°/150°	45°/135°	60°/120°
Source 1	43.8%	56.3%	43.8%	37.5%
Source 2	31.3%	62.5%	56.3%	50%
Source 3	62.5%	68.8%	68.8%	31.3%
Average	45.9%	62.5%	56.3%	39.6%

표 4. 음상정위 테스트 - 제안한 알고리즘
Table 4. Sound localization test - Proposed algorithm

Source	0°/180°	30°/150°	45°/135°	60°/120°
Source 1	68.8%	62.5%	68.8%	75%
Source 2	56.3%	62.5%	81.3%	68.8%
Source 3	75%	93.8%	81.3%	50%
Average	66.7%	72.9%	77.1%	64.6%

표 1~4에서 볼 수 있듯이 제안된 알고리즘이 기존의 방법에 비해서 정확하게 방향을 인지할 수 있음을 확인할 수 있다. 이는 기존의 머리전달함수가 가지고 있는 각 방향에 대한 특성들을 심리음향을 이용하여 보정해 줌으로서 결과적으로 청각에 미치는 영향을 조절할 수 있기 때문이다.

4.2. 음질 테스트 결과

두 번째로는 제안된 알고리즘이 음질에 미치는 영향을 확인하기 위하여 음질테스트를 실시하였다. 평가방법은 원 머리전달함수를 적용한 소리를 기준으로 삼아서 개선된 소리의 음질이 원음에 얼마나 충실한지를 비교하는 Degradation Category Rating Method를 사용하였다. 이 방법은 5가지 degradation category scale를 적용하며 그 내용은 다음과 같다.

표 5. 음질 테스트 점수
Table 5. Degradation category scale

5	Degradation is inaudible.
4	Degradation is audible but not annoying.
3	Degradation is slightly annoying
2	Degradation is annoying
1	Degradation is very annoying

표 6. 음질 테스트 - 기존 알고리즘
Table 6. Degradation category rating test - Existing algorithm

Source	0°/180°	30°/150°	45°/135°	60°/120°
Source 1	3.1	3.3	2.9	3
Source 2	2.1	2	2	1.9
Source 3	2.5	2.6	2.9	2.8
Average	2.57	2.63	2.6	2.57

표 7. 음질 테스트 - 제안한 알고리즘
Table 7. Degradation category rating test - Proposed algorithm

Source	0°/180°	30°/150°	45°/135°	60°/120°
Source 1	3.6	3.9	4.4	4.4
Source 2	3.6	3.6	3.6	3.5
Source 3	3.6	3.6	3.6	3.6
Average	3.6	3.7	3.87	3.83

표 6과 7은 각 방향에 대한 음질 테스트 결과를 나타내고 있다. 기존의 개선 방법은 5개의 고정된 대역에서 증폭 및 감쇄를 시켜주기 때문에 증폭되는 대역에 모노음의 에너지가 큰 경우 과도하게 증폭이 되므로 음질이 엄청나게 열화가 되는 현상이 발생하게 된다. 그러나 제안된 알고리즘의 경우에는 인간의 청각특성에 따라 각 임계대역의 에너지를 가변적으로 제어할 수 있기 때문에 머리전달 함수와 원음의 컨벌루션 시 발생하는 음색의 변화를 최소화할 수 있다. 이를 토대로 각 방향에 따라 현실감 있는 입체음향을 생성할 수 있다.

5. 결 론

일반적으로 바이노럴 시스템에서 음상의 방향을 판단하기 위해서는 시간이나 레벨의 차 등 소리가 음원에서 청취자에게 도달하는 정보를 이용하게 된다. 그러나 머리전달함수의 비 개인화로 말미암아 혼돈원추 상에서는 입체감이 떨어진다.

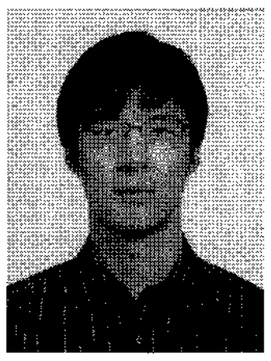
따라서 본 논문에서는 머리전달함수를 이용하여 3D 입체음향을 생성하는 과정에서 발생하는 방향지각의 혼돈을 개선하기 위하여 인간의 청각특성을 이용하는 알고리즘을 제안한다.

제안된 방식에 의해 보정된 머리전달함수는 사운드가 여러 전달 경로를 통해 청각에 미치는 영향을 효과적으로 제어함으로서 현실적인 입체음향을 생성할 수 있다. 또한 원 머리전달함수나 기존의 개선 방법과 비교할 때 음질의 열화가 적음을 확인할 수 있었다. 그러나 본 알고리즘에서 청각 모델링은 상당히 주관적이므로 모든 청취자들에게 동일한 효과를 느끼게 하기에는 한계가 있다. 그러므로 향후 진행될 연구 과제는 머리전달함수가 기본적으로 가지고 있는 청각 모델링의 오차를 낮출 수 있는 방법에 대한 연구가 진행될 예정이다.

참 고 문 헌

[1] 윤대희, "오디오 신호처리 기술 동향," *전자공학회지*, 제31권 6호, 2004
[2] 김시호, 김경훈, 배건성, 최송인, 박만호, "HRTF를 이용한 헤드폰 기반의 다채널 입체음향 생성," *전자공학회논문지*, 제42권 제1호, 2005
[3] 김익형, 정의필, "웨이블릿을 이용한 입체음향의 확산감 제어," *신호처리시스템학회 논문지*, 제4권 4호, 2003
[4] Durand R. Begault, *3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia*, NASA, 2000
[5] 구교식, 차형태, "머리전달함수의 심리음향적 특성을 이용한 전/후 음상정위 특성 개선," *방송공학회 논문지* 제 11권 제 4호, 2006. 12
[6] Navarun Gupta, Armando Barreto and Carlos Ordonez, "Spectral Modification of head-related transfer functions for improved virtual sound specialization," *IEEE*, 2002
[7] 김경훈, 김시호, 배건성, 최송인, 박만호, "헤드폰 기반의 입체음향 생성에서 앞/뒤 음상정위 특성 개선," *한국통신학회 논문지* Vol.29 No.8c, 2004
[8] Chong-Jin Tan, Woon-Seng Gan, "User-defined spectral manipulation of HRTF for improved localisation in 3D sound systems," *Electronics letters* Vol.34 No.25, 1998
[9] 명현, 김기홍, 김기호, 김용완, 김현빈, 김풍민, "입체음향 생성에 있어서 자연스러운 이동음 효과의 구현," *한국정보과학회* 제28권 제10호, 2001
[10] 김기홍, 김용완, 명현, 정혁, 김기호, "3D Sound 기술," *정보과학회지* 제19권 제5호, 2001
[11] 강성훈, *음향 시스템 이론 및 설계*, 기전연구사, 2001
[12] 정보통신부, "게임용 5.1채널 입체음향 처리 기술 개발," *정보통신산업기술개발사업 최종연구개발결과보고서*, 2003
[13] 강성훈, 강경옥, *입체음향*, 기전연구사, 1997

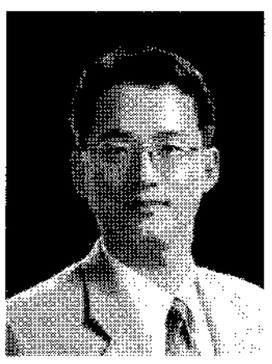
저 자 소 개



구교식(Kyo-Sik Koo)
2005년 : 숭실대 정보통신 전자공학부 졸업.
2007년 : 동 대학원 전자공학과 졸업. (공학석사)
2007년~현재 : 동 대학원 전자공학과 박사과정

관심분야 : 오디오 및 음성 신호처리

Phone : 02) 826-9063
Fax : 02) 821-7653
E-mail : senia2@mms.ssu.ac.kr



차형태(Hyung-Tai Cha)

2005년 : 제 15권 제 2호 참조