

머리전달함수의 그룹화를 이용한 가상 스피커의 정위감 개선

Improvement of virtual speaker localization characteristics using grouped HRTF

서보국 · 차형태

Bo-Kug Seo and Hyung-Tai Cha

숭실대학교 정보통신전자공학부

요 약

일반적으로 가상 스피커 구현을 위한 음상정위 방법으로 HRTF(Head Related Transfer Function) DB를 원음에 convolution하는 기법을 사용하게 된다. 그러나 비개인화된 HRTF는 가상 스피커 구현에 있어 사용자에게 따라 상/하 또는 앞/뒤 방향에 대해서 혼돈을 가져올 수 있어 정위감을 저하시킬 수 있다. 본 논문에서는 상/하, 앞/뒤 정위감을 개선하기 위해 가상 스피커 주변의 HRTF를 그룹화하여 만들어진 새로운 HRTF를 사용한 가상 스피커에 대하여 연구한다. 효과적인 HRTF 그룹화를 위해 필요한 HRTF 개수, 위치 등을 실험을 통해 결정하며, 청감 평가를 수행한다. 생성된 HRTF를 사용한 가상 스피커의 성능 평가 결과, 상/하, 앞/뒤 정위감이 개선됨을 실험을 통해 확인하였다.

키워드 : HRTF 그룹화, 가상 스피커, 정위감, 혼돈원추

Abstract

A convolution with HRTF DB and the original sound is generally used to make the method of sound image localization for virtual speaker realization. But it can decline localization by the confusion between up and down or front and back directions due to the non-individual HRTF depending on each listener. In this paper, we study a virtual speaker using a new HRTF, which is grouping the HRTF around the virtual speaker to improve localization between up and down or front and back directions. To effective HRTF grouping, we decide the location and number of HRTF using informal listening test. A performance test result of virtual speaker using the grouped HRTF shows that the proposed method improves the front-back and up-down sound localization characteristics much better than the conventional methods.

Key Words : HRTF grouping, Virtual speaker, localization characteristics, cone of confusion

1. 서 론

일반적으로 입체음향(3D sound)란 음원이 발생한 공간에 직접 위치하지 않은 청취자가 재생된 음향을 들었을 때에 음향으로부터 방향감, 거리감 및 공간감 등과 같은 공간적 단서를 지각할 수 있는 음향을 말한다[1]. 최근에 입체음향에 대한 관심이 높아지면서 5.1채널, 7.1채널과 같은 다채널 입체음향 시스템에 대한 지속적인 연구가 진행되고 있다. 다채널 입체음향을 생성하는 방법으로는 여러 대의 스피커를 사용하는 서라운드(surround) 타입 멀티채널 방식과 2대의 스피커를 사용하는 바이노럴(binaural) 타입의 2채널을 기반으로 하는 입체음향 생성 방식이 있다.

두 방식 중, 2채널 기반의 입체음향은 공간적, 비용적 측면에서 서라운드 타입의 방식보다 제약이 적기 때문에 일반 오디오 기기, 휴대폰, 협소한 장소에서의 입체음향재생 등에 유용하게 사용될 수 있다.

다채널 입체음향을 2채널로 재생하는 기법은 각 채널별로 해당 스피커의 위치에 가상 스피커를 배치하여 구현할 수 있다. 일반적으로 원하는 위치에 가상 스피커 구현하기 위해 HRTF 바이노럴 필터링을 통한 음상정위(sound image localization) 기법을 이용한다. 이와 같은 방법을 사용하면 수평면이나 정중앙면 정위와 같은 방향정위는 어느 정도 정확하게 제어가 가능한 것으로 알려져 있다[2].

하지만 수평면이나 정중앙면 외의 다른 곳에 가상 스피커를 배치하면 그 정위감이 전자에 비해 감소하게 된다. 또한 일반적으로 많이 사용하는 MIT의 HRTF는 더미헤드를 통해 측정된 값으로, 비개인화 된 측정값이다. 그러므로 가상 스피커를 위한 음상정위에 있어 개인에게 모두 최상의 정위감을 제공하는 것이 힘들다[3].

본 논문에서는 다채널 입체음향을 2채널에서 재생하기 위한 가상 스피커를, 수평면이나 정중앙면이 아닌 곳에 구현함에 있어 상/하 또는 앞/뒤 정위감 개선을 목적으로 하였다. 상/하, 앞/뒤 정위감 개선을 위해 HRTF를 그룹화 하는 방법을 사용하였다. 그룹화에 있어, 사용할 HRTF의 개수, 위치 등을 실험을 통해 결정하였다. 본 논문은 HRTF를 이용한 가상 스피커의 정위에 대하여 설명하고, 상/하, 앞/뒤 정위감 개선을 위한 HRTF 그룹화에 대하여 설명한다. 마지막으로 정위감 개선에 대한 청감 평가의 결과를 제시한 후 결론을 맺는다.

교신저자 : 차형태

접수일자 : 2006년 11월 20일

완료일자 : 2006년 11월 30일

감사의 글 : 본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음

2. HRTF를 이용한 입체음향 생성

2.1 머리전달함수(HRTF)

청취자가 음원에 대한 방향을 지각 할 수 있는 것은 머리 전달계의 고유특성에 의하여 두 귀에 입사하는 두 신호의 세기차(IID: Interaural Intensity Difference)와 시간차(ITD: Interaural Time Difference) 그리고 스펙트럼차(ISD: Interaural Spectrum Difference)가 발생하기 때문이다. 양쪽 귀에 입사하는 소리의 세기차와 시간차는 그림 1에서 살펴 볼 수 있다. 그밖에 입사각과 내이에도달하기까지 몸통, 머리, 외이의와 상호 작용과 직접음의 반사와 회절에 의한 음의 스펙트럼 변화 등 다양한 요인들이 방향의 지각에 영향을 미친다. 이러한 특성을 가지고 있는 것을 HRTF(Head Related Impulse Response)라고 한다. 즉 HRTF는 공간에 정위된 음원으로부터 사람의 귀로 전달되는 음향적 과정을 나타낸다. HRTF는 인간의 청각 기관을 모델링한 더미헤드를 사용하여 360°의 방위각(azimuth)과 180°의 고도각(elevation) 사이를 특정한 간격을 두고 각각의 위치에 대한 좌우 양쪽의 임펄스 응답인 HRIR(Head Related Impulse Response)의 형태로 제공된다[4]. 본 논문에서는 MIT Media Lab에서 KERMA 더미 헤드를 이용하여 측정된 HRTF DB를 사용하였다. 그림 2는 MIT에서 제공하는 HRTF DB에서 고도각 40°, 방위각 39° 그리고 고도각 60° 방위각 50° 방향에 대한 HRIR(sample 수 512)개의 예를 보이고 있다.

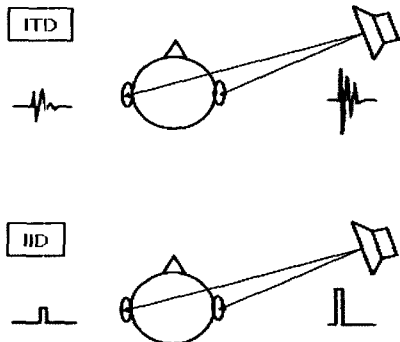


그림 1. 양쪽 귀간 소리의 좌우 입력 차이
Fig. 1. Illustration of ITD and IID

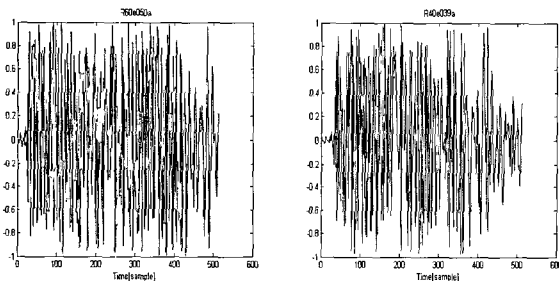


그림 2. MIT HRTF DB의 HRIR의 예
Fig. 2. Example of HRIR (MIT HRTF DB)

2.2 HRTF를 이용한 가상 스피커의 방향감 제어

음상을 공간상의 특정 장소에 위치시켜 가상 스피커를 구현하는 과정은 특정 방향에서 두 외이에 도달하는 물리적 단서로써 측정된 HRTF를 사용하여 구현된다. 다음의 식 (1)은 원음과 HRIR과의 컨벌루션 과정을 나타낸 식이다.

$$y[n] = \sum_{m=0}^{M-1} x[m]h[n-m] \quad (1)$$

$x[n]$ 은 음원 샘플, $h[n]$ 은 HRIR, $y[n]$ 은 출력신호, M 은 HRIR의 탭 개수이다. 그림 3은 위의 식을 사용하여 가상 스피커를 구현하는 모습이다. 그러나 식 (1)의 컨벌루션 식을 통하여 얻어진 결과는 혼돈원추 상에 위치한 음원에 대해 정위감에 한계를 가진다. 이는 HRTF를 사용하면 방향지각의 주요소인 IID나 ITD 등의 정보를 얻게 되지만, 자신의 HRTF가 아닌 더미헤드에서 측정된 HRTF를 사용하기 때문에 자신에게 맞는 정확한 스펙트럼 단서를 제공하지 못하기 때문이다. 이처럼 비개인화 된 HRTF를 이용함으로써 발생하는 문제점을 개선하기 위해 본 논문에서는 HRTF를 그룹화하여 사용한다. HRTF를 그룹화하여 생성되는 새로운 HRTF를 사용하여 상/하, 앞/뒤 음상정위의 혼돈을 개선한다.

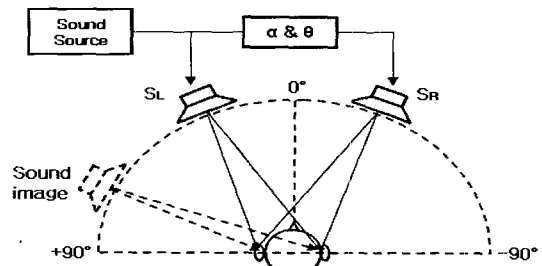


그림 3. 2채널 스피커를 이용한 가상 스피커 구현
Fig. 3. Virtual speaker using 2 channel speaker

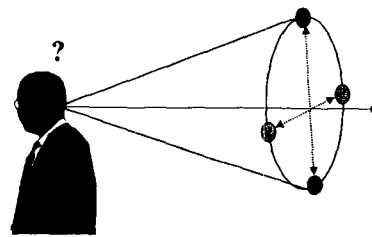


그림 4. 혼돈 원추
Fig. 4. Cone of confusion

2.3 공간감과 거리감 제어

실내에서 음을 방사 시키면 벽, 천정, 바닥, 공기 등에 의해 흡수, 반사되어 직접음 이외에 다수의 반사음이 겹쳐지게 된다. 이들 반사음은 공간의 형태 및 벽면 재질의 흡음률 등에 의해 진폭이나 위상이 변화되고, 동시에 직접음에 비해 시간적으로 늦게 도달하는 성질이 있다. 위와 같이 전파되는 소리는 공간정보를 반영한 왜곡 특성을 보이게 되는데, 이를 통해 청취자는 거리감과 공간감을 지각하게 된다[5]. 따라서 방향감만 고려된 음상정위 결과만으로는 실재감 있는 소리를 재생하기가 어렵다. 또한 헤드폰 재생 시에는 소리가 머리 안에 머무는 현상이 입체감을 저하시키는 요인으로 작용하는데 이러한 문제를 해결하기 위해서는 청취공간정보를 부여하는 잔향효과가 필수적이다.

잔향(reverberation)이란, 직접음에 비해 시간적으로 늦게 도달하는 반사음 그룹의 울림이다[6]. 음장제어를 위한 잔향은 크게 직접음을 보강하여 음의 명료성을 높이거나 공간감

을 느끼게 하는 초기잔향과 음의 지속성을 나타내는 후기잔향으로 나누어진다. 아래 그림 5는 음원에서 청취자의 귀까지 소리가 전달되는 공간 전달함수의 일반적인 임펄스 응답 특성을 나타내고 있다[7].

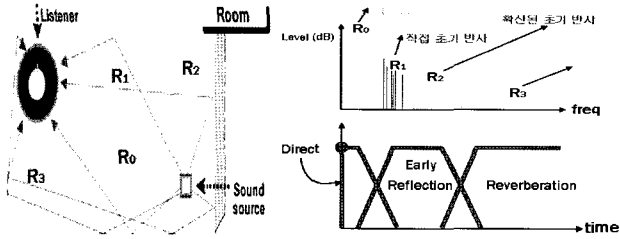


그림 5. 실내에서의 잔향 특성
Fig 5. Typical reflection characteristics in a room

본 논문에서 제안하는 가상 스피커의 정위감 개선을 위한 HRTF 그룹화의 구현과정에서, 공간감과 거리감 개선을 위한 잔향 효과는 고려하지 않는다.

3. 가상 스피커의 정위감 향상을 위한 HRTF 그룹화

3.1 상/하 정위감 개선을 위한 머리전달함수(HRTF) 그룹화

일반적으로 가상 스피커를 정위할 때에는 그림 6에서와 같이 원하는 위치에 해당하는 HRIR과의 컨벌루션 연산을 수행한다[8].

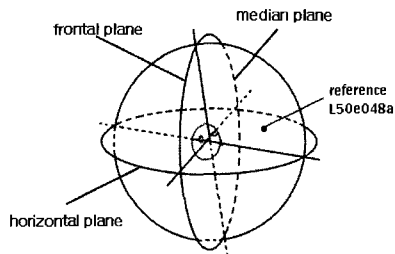


그림 6. 1 point HRTF를 이용한 가상 스피커 정위
Fig 6. Virtual speaker localization using 1 point HRTF

하지만 앞 절에서도 살펴보았듯이 공개되어 있는 HRTF DB를 사용하는 경우, 자신에게 맞는 정확한 방향 정보를 얻을 수 없기 때문에 가상 스피커의 정위감이 감소된다. 이와 같은 경우의 개선을 위해 본 논문에서는 HRTF를 그룹화 하여 생성된 HRTF를 이용하여 가상 스피커를 정위한다. HRTF 그룹화를 위해 그림 7과 같이 고도 50°, 방위 48°의 HRTF(L50e048a) 주변의 HRTF 8개를 선택한다. 사용한 HRTF는 표 1과 같다.

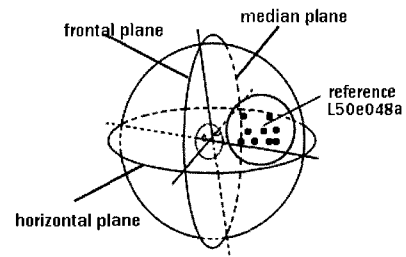


그림 7. HRTF 그룹화를 이용한 가상 스피커 정위
Fig 7. Virtual speaker localization using grouped HRTF

표 1. 상/하 정위감 개선을 위한 HRTF 구성
Table 1. A list of HRTF for improvement of Up-down sound localization characteristics

L40e039a	L40e045a	L40e051a
L40e058a	L50e040a	L50e048a
L50e056a	L60e040a	L60e050a

원하는 위치의 HRTF를 중심으로 주변의 HRTF를 2개, 3개, 4개, 5개, 9개의 경우로 그룹화 하여 각각의 평균을 취하여 새로운 HRTF를 생성한다. 그림 8은 기준이 되는 HRTF와 주변의 HRTF 2개를 그룹화 하는 경우를 보여준다. 위와 같은 방법으로 각 개수의 경우에서 HRTF를 그룹화 하여 상/하 정위감 개선을 위한 최적의 HRTF 개수, 그룹화의 방향 등을 찾는다.

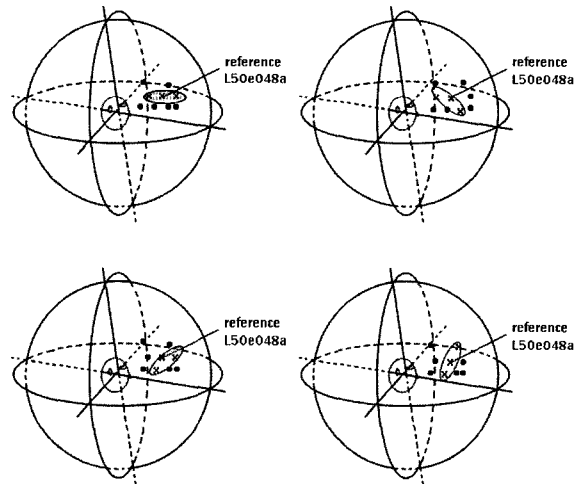


그림 8. 상/하 정위감 개선을 위한 3 point HRTF 그룹화
Fig 8. Group of 3 point HRTF for Up-down sound localization characteristics

3.2 앞/뒤 정위감 개선을 위한 머리전달함수(HRTF) 그룹화

지금까지 살펴보았듯이 청취자귀까지의 거리가 같은 혼돈 원추상의 음상정위의 경우, 공개되어 있는 HRTF DB를 사용할 시에, 자신에게 맞는 정확한 방향 정보를 얻을 수 없기 때문에 가상 스피커의 정위감이 감소된다. 이와 같은 경우의 개선을 위해 본 논문에서는 HRTF를 그룹화 하여 생성된 HRTF를 이용하여 가상 스피커를 정위한다. HRTF 그룹화를 위해 그림 9과 같이 고도 50°, 방위 48°의 HRTF

(L50e048a) 주변의 HRTF 8개와 혼돈원추 상의 고도 50°, 방위 136°의 HRTF(L50e136a) 주변의 HRTF 8개를 사용한다.

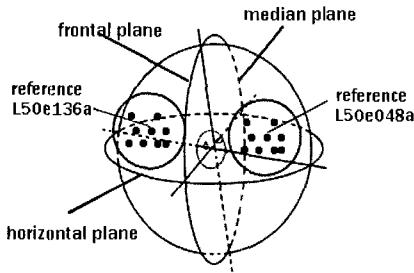


그림 9. 앞/뒤 정위감 개선을 위한 HRTF 그룹화
Fig 9. HRTF grouping for Up-Down sound localization characteristics

아래 표 2는 실험을 위한 HRTF의 구성이다.

표 2. 앞/뒤 정위감 개선을 위한 HRTF 구성
Table 2. A list of HRTF for improvement of Front-back sound localization characteristics: a) A list of HRTF around L50e048, b) A list of HRTF around L50e136

L40e039a	L40e045a	L40e051a
L40e058a	L50e040a	L50e048a
L50e056a	L60e040a	L60e050a

(a) L50e048a 주변의 HRTF

L40e129a	L40e135a	L40e141a
L40e148a	L50e128a	L50e136a
L50e144a	L60e130a	L60e140a

(b) L50e136a 주변의 HRTF

혼돈원추 상의 HRTF L50e048a과 L50e136a 주변의 HRTF를 중심으로 주변의 HRTF를 각각 2개, 3개, 4개, 5개, 9개의 경우로 그룹화 하여 각각의 평균을 취하여 새로운 HRTF를 생성한다.

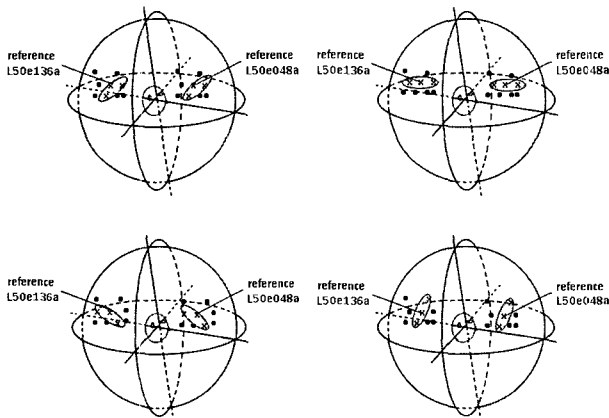


그림 10. 앞/뒤 정위감 개선을 위한 3 point HRTF 그룹화
Fig 10. Group of 3 point HRTF for Front-back sound localization characteristics

그림 10은 기준이 되는 HRTF와 주변의 HRTF 2개를 그룹화 하는 경우를 보여준다. 위와 같은 방법으로 각 개수의 경우에서 HRTF를 그룹화 하여 앞/뒤 정위감 개선을 위한 최적의 HRTF 개수, 그룹화 방향 등을 찾는다.

실험의 정확성을 위해 기준이 되는 HRTF의 방향을 L50e048a뿐만 아니라, R20e070a, L20e070a, R50e048a 그리고 그에 대응하는 혼돈원추 상의 HRTF의 방향 L50e136a, R20e110a, L20e110a, R50e136a에 대해서도 위와 같은 실험을 하여 청감 테스트를 실시하였다.

4. 청감 평가 실험

4.1 상/하 정위감 개선을 위한 청감 평가 실험

새로 생성한 HRTF를 이용하여 구현한 가상 스피커와 기준이 되는 HRTF만을 이용하여 구현한 가상 스피커와의 상/하 정위감 비교를 위해 청감 테스트를 하였다. 또한 청감 테스트의 결과를 분석하여 최적의 정위감을 얻을 수 있는 HRTF 그룹화 개수, 그룹화 모양을 결정한다. 평가 방법으로는, 우선 2개, 3개, 4개, 5개, 9개의 HRTF를 사용하여 그룹화한 HRTF sample들을 각각의 경우별로 청감 테스트를 수행한다. 그룹화 개수에 따른 5가지 경우의 청감 테스트를 통하여 각각의 경우에서 상/하 정위감이 가장 좋은 sample을 결정한다. 위와 같은 방법으로 얻어진 5개의 sample과 원음을 임의의 순서로 들려준 후 상/하 정위감에 따라 순위를 정하는 방법으로 청감 테스트를 수행하였다. 청감 테스트는 비전문가 10명에 대해 수행하였다. 청감 테스트에는 메신저 프로그램의 일종인 네이트온의 로그인 효과음을 원음으로 사용하였다. 또한, 청감 테스트에는 IWIN CMK-399 스피커를 사용하였으며 청취자와의 거리는 1.4m로 유지하였다. 아래 그림 11은 원음과 L50e048a에 정위된 음을 보여준다.

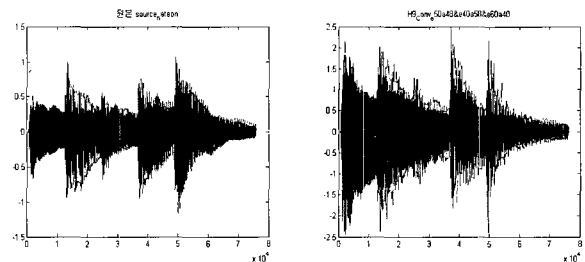


그림 11. 원음과 L50e048a에 정위된 음의 파형
Fig 11. Waveform of original sound and localization at L50e048a

단일 HRTF를 사용하여 원음이 임의의 위치에 정위된 경우, 그림 11에서 알 수 있듯이, 소리가 커지거나 소리의 특정 부분이 강조되는 등의 음질 변화가 일어난다. 청감 평가에서는 위와 같은 문제 발생 시, 음질의 변화 보다는 정위감의 개선에 중점을 둔다.

표 3의 청감 테스트 결과는 HRTF 그룹화하여 사용하여 정위한 가상스피커와, 기준이 되는 HRTF만을 사용하여 정위한 가상 스피커에 대해서 상/하 정위감 및 음질이 높게 평가된 경우를 표시하고 있다. 실험 결과 그룹화 된 HRTF를 사용하여 가상 스피커를 정위하는 경우 모두가 단일 HRTF를 사용한 경우보다 상/하 정위감이 개선됨을 알 수 있다. 또한 그룹화된 HRTF를 사용하는 경우의 음질이 단일 HRTF

를 사용한 경우보다 원음과 유사함을 확인 할 수 있었다.

표 3. 그룹화 된 HRTF와 단일 HRTF를 사용한 경우의 상/하 정위감 비교

Table 3. Up-down sound localization characteristic using single HRTF compare with grouped HRTF

	L50e048a	L20e070a	L50e136a	L20e110a
Grouped	10	10	10	10
Single	0	0	0	0

(단위: 명)

	R50e048a	R20e070a	R50e136a	R20e110a
Grouped	10	10	10	10
Single	0	0	0	0

표 4의 청감 테스트 결과는 HRTF 그룹화 시 가장 효율적인 개수에 대한 실험 참여자의 선택을 나타낸다.

표 4. 청감 평가 결과

Fig 4. Result of listening test

기준 HRTF \ 그룹화수	1	2	3	4	5	9
L50e048a	x	x	7	2	1	x
L20e070a	x	1	8	1	x	x
R50e048a	x	x	7	1	1	x
R20e070a	x	x	6	3	1	x

(단위: 명)

표 3과 표 4에서 알 수 있듯이 그룹화된 HRTF를 사용하는 모든 경우에서 상/하 정위감이 개선된 것으로 나타났고 특히 3개의 HRTF를 합성하여 사용하는 경우가 상/하 정위감이 가장 많이 개선됨을 알 수 있다. 특히 대부분의 경우에서 아래의 그림 12과 같이 기준 HRTF 위/아래의 HRTF를 합성하는 경우가 상/하 정위감이 가장 많이 개선됨을 알 수 있었다.

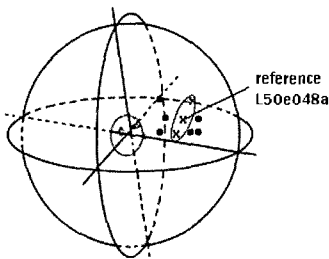
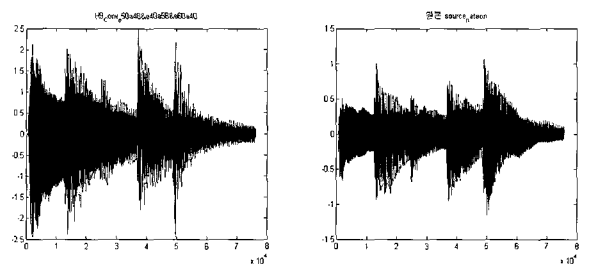


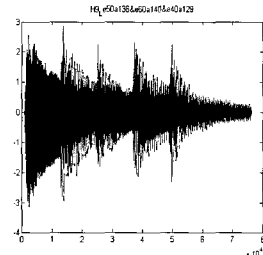
그림 12. 상/하 정위감을 개선하기 위한 HRTF 그룹화
Fig 12. HRTF grouping for Up-down sound localization characteristics

4.2 앞/뒤 정위감 개선을 위한 청감 평가 실험

앞 절에서 청감평가의 결과로 그룹화된 HRTF를 사용하는 경우 상/하 정위감이 개선됨을 확인하였다. 본 절에서는 그룹화된 HRTF를 사용하는 경우 혼돈원추에서 앞/뒤 정위감 개선에 관한 청감 테스트를 수행한다. 앞 절과 마찬가지로 새로 생성한 HRTF를 이용하여 구현한 혼돈원추 상에 정위된 가상 스피커와, 기준이 되는 HRTF만을 이용하여 구현한 가상 스피커와의 앞/뒤 정위감 비교를 통해 청감 테스트를 수행한다. 청감 테스트의 방법은 4.1절의 방법과 동일하다. 또한 청감 테스트에 사용된 원음과 기기 또한 4.1절의 것과 동일한 조건으로 수행하였다. 아래 그림 13는 원음과 L50e048a에 정위된 음, 그리고 대응하는 혼돈원추 상의 L50e136a에 정위된 음을 보여준다.



(a) 원음 (b) L50e048a에 정위된 음



(c) L50e136a에 정위된 음

그림 13. 원음과 L50e048a, L50e136a에 정위된 음의 파형
Fig 13. Waveform of original sound and localization at L50e048a, L50e136a: a) original sound, b) Waveform of localization at L50e048a, c) Waveform of localization at L50e136a

아래 표 5는 단일 HRTF를 사용한 경우와, 그룹화된 HRTF를 사용하여 정위된 가상 스피커의 앞/뒤 정위감을 비교를 위해 실험 참여자에게 각각을 들려준 후, 앞/뒤 정위감이 높게 평가된 경우를 선택한 결과이다. 표 5의 결과를 살펴보면 그룹화된 HRTF를 사용하는 경우가 단일 HRTF를 사용하는 경우보다 혼돈이 적음을 알 수 있다.

표 5. 혼돈원추 상에서 그룹화 된 HRTF와 단일 HRTF를 사용한 경우의 앞/뒤 정위감 비교

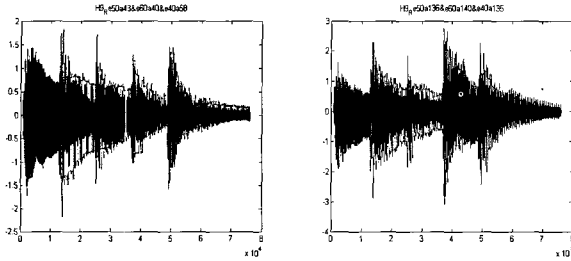
Table 5. Front-back sound localization characteristic using single HRTF compare with grouped HRTF

(단위: 명)

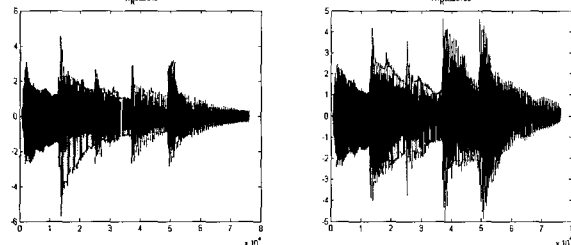
	R50e048a	R50e136a	R20e070a	R20e110a
Grouped	9		8	
Single	1		2	

	L50e048a	L50e136a	L20e070a	L20e110a
Grouped	8		8	
Single	2		2	

그림 14은 각각 그룹화된 HRTF와 단일 HRTF를 사용하여 정위한 음의 파형을 보여준다.



(a) Grouped(3 point) R50e048a & R50e136a



(b) Single R50e048a & R50e136a

그림 14. 그룹화 된 HRTF와 단일 HRTF를 사용하여 정위한 혼돈원추 상의 음의 파형

Fig 14. Waveform of using grouped HRTF and single HRTF: a) Waveform of localized sound using grouped HRTF, b) Waveform of localized sound using single HRTF

5. 결 론

입체음향은 음원이 발생한 공간에 직접 위치하지 않은 청취자가 재생된 음향을 들었을 때에 음향으로부터 방향감, 거리감 및 공간감 등과 같은 단서를 지각할 수 있는 음향을 말한다. 일반적으로 입체음향을 위한 가상 스피커의 정위 방법으로 머리전달함수(HRTF) DB를 원음에 컨벌루션하는 기법을 사용한다. 하지만 공개되어 있는 HRTF는 더미헤드를 통해 측정된 값으로 비개인화된 측정값이다. 이처럼 비개인화된 HRTF를 사용하는 경우 가상 스피커 구현에 있어 사용자에게 따라 상/하, 앞/뒤 방향에 대해서 혼돈을 가져올 수 있어 정위감을 저하시킬 수 있다. 이에 본 논문에서는 HRTF의 그룹화를 통해 만들어진 새로운 HRTF를 원음에 컨벌루션하는 기법을 사용하여 상/하, 앞/뒤 정위감을 개선하는 방법을 연구하였다. 효과적인 HRTF 그룹화를 위해 필요한 HRTF 개수, 위치 등을 실험을 통해 결정하였으며, 생성된 HRTF를 사용한 가상 스피커의 성능을 평가하였다. 성능평가를 위한 청감 테스트 결과, 가상 스피커의 상/하 및 앞/뒤 정위감이 개선됨을 확인 할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 명현, 김기홍, 김기호, 김용완, 김현빈, 김풍민, "입체음향 생성에 있어서 자연스러운 이동음 효과의 구현," 정보과학회, 제 28권, 제 10호, 2001.
- [2] 김해영, "확장된 음향적 시차 모델을 이용한 음상 거리정위의 모델화," 한국음향학회지, 제 23권, 제 1호, 2003.
- [3] 홍진우, 최범석, "입체음향(3D 오디오) 기술과 원리," 방송공학회지, 제 6권.
- [4] 안현진, 김현태, 박장식, 손경식, "3차원 입체음향을 위한 머리전달함수의 IIR 필터 구현," 한국멀티미디어학회 추계학술발표대회논문집, 2003.
- [5] Julio Cesar B.TORRES, Mariane R.PETRAGLIA, Roberto A.TENENBAUM, "HRTF Modeling for Efficient Auralization," IEEE, 2003.
- [6] William G. Gardner, "The Virtual Acoustic Room," Master thesis, 1992.
- [7] 김익형, 정의필, "방향 정위된 음원에 시간지연을 이용한 확산감 제어에 관한 연구," 대한전자공학회, 제 24권, 제 1호, 2001.
- [8] Rudolf Susnik, Jaka Sodnik, Anton Umek, Sasa Tomazic, "Spatial sound generation using HRTF created by the use of recursive filters," IEEE, 2003.

저 자 소개



서보국(Seo Bo Kug)

2006년 : 숭실대학교 정보통신전자공학과 졸업.

2006년~현재 : 동 대학원 전자공학과 석사과정

관심분야 : 오디오 신호처리, 입체음향
E-mail : sbk8941@mms.ssu.ac.kr



차형태(Cha Hyung Tai)

제 13권 4호 (2003년 8월호) 참조