

Relative HRTF를 이용한 입체음향 재생방법에 관한 연구 A Study on Implementation of 3D sound generation System Using Relative HRTF

*이신열, *방승범, *김순협, **정완섭
*광운대학교 컴퓨터공학과, ** 한국표준과학연구원

*Sin-lyul Lee, Seung-Bum Bahng, Sun-hyob Kim, Wan-sup Chung
*Dept. of Computer Engineering, Kwangwoon Univ.
**Korea Research Institute of Standard and Science

<Abstract>

지금까지의 입체음향 재생 연구에서는 Dummy Head 나 Head and Torso Simulator(HATS)를 사용한 측정 HRTF(Head-Related Transfer Function)를 사용하여 입체음향 재생 시스템을 설계해왔다. 하지만 이러한 시스템은 구현의 단순함에도 불구하고 계산량의 증가로 인한 실시간 구현의 어려움과, 신호처리로 인한 음색의 변화 및 음질의 저하, 정면 정위의 어려움 등 많은 문제점을 내포하고 있었다. 본 연구팀이 제안하는 Relative HRTF는 인체의 기하학적 모델링을 통한 구조적 접근 방법으로 이러한 단점을 극복할 수 있는 새로운 HRTF 모델링 기법이다. 이는 신호처리 과정의 단순화를 통하여 실시간 구현과 음색의 변화를 극소화시키고 스피커 구동 방식에서도 적절히 사용될 수 있다. 또한 본 연구를 위하여 기존의 HRTF 측정 방법의 문제점을 개선한 HATS를 이용한 Blocked Ear Canal HRTF 측정 방법에 대해서도 소개한다.

1. 서론

입체 음향 재생을 위하여 지금까지 알려진 가장 효과적인 방법은 측정 HRTF(Head-Related Transfer Function)를 이용한 재생방법[1]을 들 수가 있다. 본 논문은 측정 HRTF를 사용하여 입체음향 재생 시 나타나는 문제점들에 대해 알아보고 HRTF 측정방법, 모델링 기법, 신호처리 기법 등에 대해 알아보려고 한다.

2. 연구 배경

본 연구는 선도 기술 과제(G7) 감성 공학의 통합 환경 제시장치 개발의 한 분야로 인간이 경험 할 수 있는 음향 환경 제시를 위한 장치 개발에 연구 목적을 설정하여 97년 관련 연구를 시작으로 현재 한국표준과학연구원 음향 진동 실에 설치를 완료하였다[7]. 시뮬레이터는 크게 5가지로 구분할 수 있는데

- ① 바이노럴, phased-array 마이크 수음부
 - ② 디지털 샘플러/신디사이저, 24 채널 디지털 믹서부
 - ③ PC상의 입체 음향 편집부
 - ④ 12 채널 스피커 구동부
 - ⑤ 청취부
- 로 구성되어 있다.

3. 측정 HRTF를 이용한 입체음향 재생의 문제점.

HRTF를 이용한 입체음향 재생 방법이 소개된 이후 국내에서도 연구 기관, 회사, 학교 등에서 HRTF에 대한 많은 연구들이 계속적으로 행해졌다. 측정 HRTF를 이용한 입체음향 재생 시스템의 기본은 HRTF 측정에 있지만 국내에서는 음향 연구 설비의 미비로 실제

HRTF를 측정에서 분석까지 체계적으로 연구한 경우는 거의 드물다.

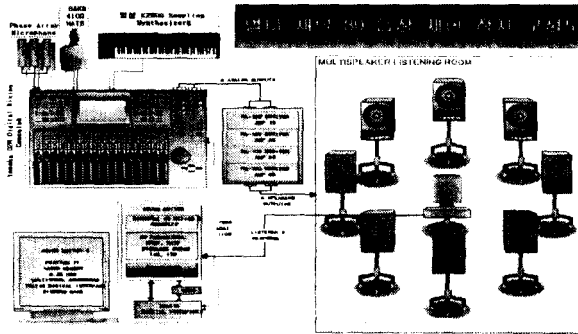


그림 1 멀티 채널 음장 재현 장치 구성도

또한 거의 대부분의 연구가 MIT HRTF를 분석 없이 그대로 사용하고 있으며, 대부분의 연구가 시스템 설계에 치우쳐 HRTF 측정 및 모델링에 대한 연구는 거의 진부한 상태이다. 본 연구팀 또한 97년에 MIT HRTF를 이용하여 국내에서는 처음으로 입체 음향 재생 시스템을 설계하여 다양한 실험을 해 볼 수 있었다[8]. 실험 결과 MIT 측정 HRTF를 이용한 입체음향 재생 시스템은 다음과 같은 문제점이 있었다.

1. 음질의 저하 및 음색의 변화.

측정 HRTF는 특정 주파수에서 피크와 노치가 과도하게 나타나고 전체적으로 리플이 심하게 발생하여 신호 처리 시 원음이 심하게 변질되어 나타났다. 이는 음악과 같은 음질이 요구되는 분야에서 HRTF 적용을 어렵게 만드는 가장 커다란 요인이었다. 사실 외국에서는 HRTF가 20년 전부터 연구되기 시작했고 이를 음악에 적용하려는 시도도 있었지만 음질 저하라는 요인 때문에 음질이 요구되지 않으면서 입체 정보만이 필요한 국방, 컴퓨터 인터페이스 분야에서 주된 연구를 하고 있다[1].

(2) 실시간 구현의 어려움

측정 HRTF를 이용한 입체음향 재생을 위한 컨볼루션 신호처리는 아래와 같다.

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

(입력 신호: $x(n)$, HRIR: $h(n)$, 출력 신호: $y(n)$)

입체음향 신호 $y(n)$ 을 얻기 위해서는 HRTF의 시간 축 표현인 Head-Related Impulse Response (HRIR)을 입력 신호 $x(n)$ 과 컨볼루션 연산 처리한다[6]. 컨볼루션 연산량을 줄이기 위해 $h(n)$ 의 탭 수를 줄이고, $x(n)$ 을 드라이 음원으로 제한하여 현재 사용하고 있지만 드라이 음원으로 제한함으로써 실용성이 떨어지고, 탭 수를 줄이기는 했지만 컨볼루션 자체의 연산량이 많기 때문

에 실시간 구현은 고가의 전용 하드웨어를 통해서 가능했다.

(3) 스피커 재생시의 문제점.

현재 HRTF를 이용한 입체음향 재생은 헤드폰 재생 전용으로 설계되며 스피커를 통한 재생 시는 크로스토크를 제거하기 위한 크로스토크 제거기를 통과하게 설계되어 있다[4]. 하지만 실제 스피커 재생 시에는 새로운 문제점이 발생된다.

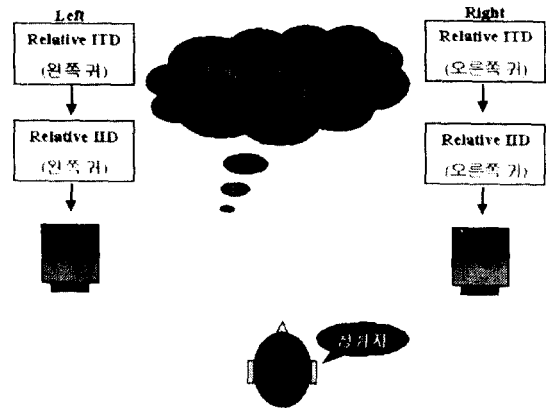


그림 2 Relative HRTF를 이용한 스피커 재생

이는 측정 HRTF를 이용한 음상 정위 실험에서 나타났던 정면 음상 정위의 어려움이었다. 예를 들어 방위각, 고도 0도 위치에 음상을 정위 시키고자 할 때 측정 HRTF 사용 시에는 0도 HRTF 데이터를 컨볼루션 연산 처리해야 했지만 실제로는 원음을 그대로 좌우 스피커에 동일한 크기로 재생시키기만 해도 0도 음상 정위가 가능했다. 즉 인간은 음의 위치를 절대적인 량보다는 상대적인 차이로 느끼며, 이는 측정 HRTF를 사용하는 것 보다 위치에 따른 차이 정보를 담고 있는 Relative HRTF를 사용하는 것이 더 효과적임을 시사해 준다[2].

3-1. Blocked-Ear HATS를 이용한 HRTF 측정.

지금까지 외국의 경우 연구 목적에 따라 수많은 HRTF 측정 실험을 해 왔지만 공인된 HRTF는 몇 개에 불과하며 이 데이터 또한 지금에 와서는 새로운 문제점이 있는 것으로 나타났다. HRTF 측정은 신호음의 종류, 마이크 설치 위치, 마이크의 종류에 따라 커다란 차이를 보이는데 무엇보다도 마이크 설치 위치 및 종류가 가장 중요한 요인으로 작용한다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 최근에 알려진 측정 방법으로 Blocked

Ear Canal HRTF 측정법이 제안되었으며 이는 모든 방향 정보 포함하고, Probe 마이크 보다 성능이 우수한 Miniature 마이크를 사용할 수 있으며, 개개인들 간의 변위는 Open ear canal 보다 적은 장점을 가지고 있다 [3].

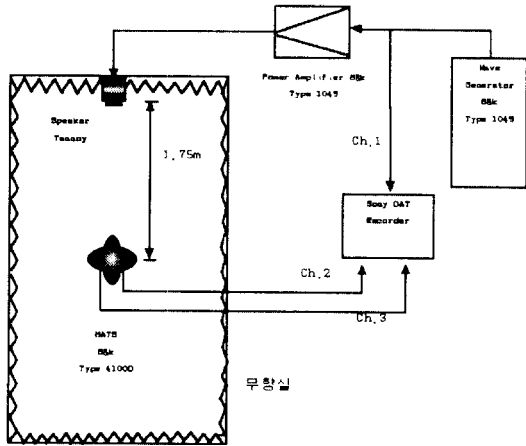


그림 3 Blocked Ear HRTF 측정 장치 구성도

3-2. Relative HRTF 모델링.

Relative HRTF 모델링은 측정 HRTF를 통한 입체 음향 재생 실험에서 정면 음상 경위 능력의 문제점에서 연구가 시작되었지만 실제 음악, 영화 등의 녹음작업에서 연구 동기를 찾을 수 있었다. 현재의 디지털 믹싱 콘솔로도 HRTF에 대해 이론적 배경이 없는 음향기사가 입체음향을 경험적으로 낼 수 있다는 것을 알 수 있었고, 그들의 작업은 단순한 이퀄라이저와 딜레이 값을 조절하는 정도였다[1].

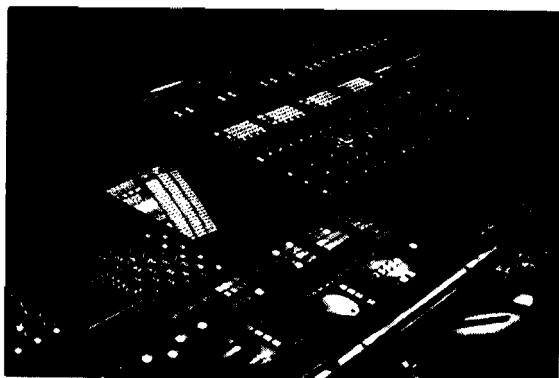


그림 4 디지털 믹싱 콘솔(SSL)

이러한 조작을 통해 생성된 입체음향은 측정 HRTF를 통해 생성된 입체음향에서 발생하는 음질 저하, 실시간 구현의 어려움, 스피커 재생에서의 문제점을 해결할 수

있었다. 중요한 것은 그들이 경험에서 찾은 음상 경위를 위한 딜레이 값과 이퀄라이저 값을 어떻게 알아내느냐에 달려 있는데 본 연구팀은 이를 Relative HRTF를 통해 발견할 수 있었다. Relative HRTF 모델링 과정은 다음과 같다.

① 방위각, 고도 0도 값으로 HRTF 보정.

- 마이크, 스피커, 측정장비에 의존하는 데이터 손실을 제거하고 스피커 재생 시 이중으로 반영되는 것 바뀌, 외이도 특성을 세게한다.

② Relative ITD 추출.

- 선형 위상 특성을 이용하여 180도까지 5도 간격으로 1.5 kHz 이하의 균지연 값 추출.

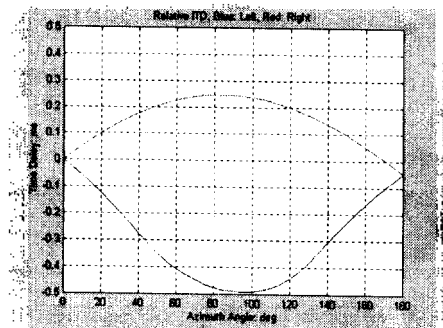


그림5 RelativeITD (Blue :Left, Red :Right)

③ Relative IID 추출.

- 좌, 우측귀의 180도까지 5도 간격으로 방위각, 고도 0도 값으로 보정된 양 귀 주파수별 인텐시티 차 추출.

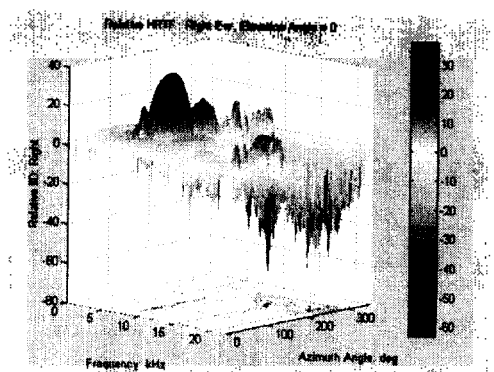


그림 6 Relative IID(오른쪽 귀)

④ 1/3 옥타브 밴드 분석.

- 음질의 저하를 일으키는 리플 특성을 제거하고 개개인에게 공통으로 나타나는 피크와 노치 특성을 반영한다.

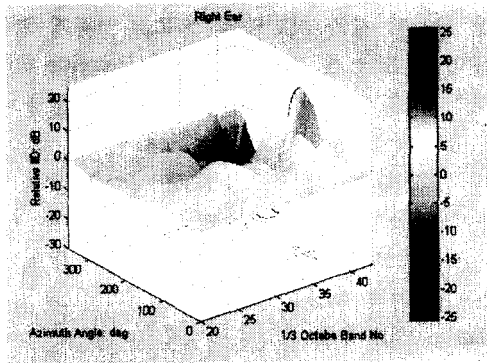


그림 7 1/3 Octave band normalized IID(오른쪽 귀)

3-3. Relative HRTF를 이용한 시스템 구성.

전체적인 시스템의 구성은 기존의 측정 HRTF를 이용한 시스템과 공통부분이 많다. 기다란 차이점은 컨볼루션 인산 부분을 이퀄라이저와 딜레이로 교체하고 크로스토크 제거를 위해 ITF(Interaural Transfer Function) 데이터를 사용하였다.

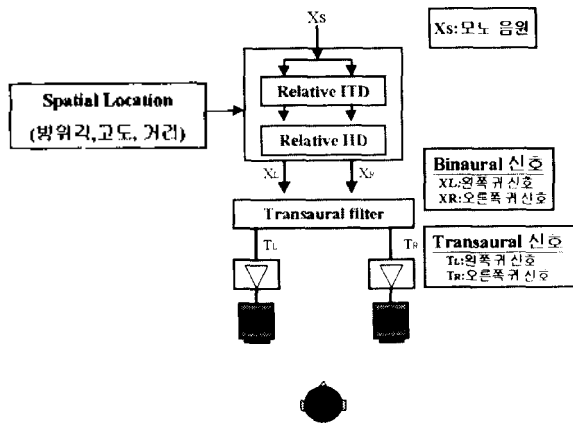


그림 8 Relative HRTF를 이용한 입체음향 재생 시스템

5. 결론

지금까지의 많은 음향 연구들이 연구실내에서만 이루어지고 실제 현장에서는 어떻게 이 기술을 적용시키고 또한 현장에서는 어떤 외국 음향장비들이 사용되는지에 대한 관심이 적었기 때문에 연구의 결과들이 산업에 적용되는 경우는 거의 미비하였으며, 외국 제품과의 기술 격차는 점점 커져가고 있는 실정이었다. 측정 HRTF를 이용한 입체음향 재생도 이 경우와 비슷하다. 현장에서

는 HRTF에 대해 이론적 배경이 없는 상태에서도 음향 기사들이 아날로그 믹싱 콘솔을 이용하여 스피커를 통해 일반인들에게 입체음향을 제공해주고 있었기 때문이다. 본 연구팀은 음향 기사들이 경험에서 찾은 이러한 주파수 특성과 위상 특성을 Relative HRTF를 통해 찾을 수 있었고, 측정 HRTF를 이용한 입체음향 재생 방식의 한계였던 음원의 제한, 실시간 구현의 어려움, 음질의 저하, 스피커 재생의 문제점들을 개선시킬 수 있었다. 현재까지는 방위각에 대한 해석과 모델링이 이루어졌으며 계속적으로 고도에 대한 해석 모델링 및 주관 평가를 해 나갈 예정이다.

6. 참고 자료

- [1] Durand R. Begault "3-D sound for virtual reality and multimedia". AP professional.
- [2] C. Philip. Brown, "A thesis presented to San Jose State University"
- [3] Henrik Moller et al, "Head-Related Transfer functions of Human Subjects"
- [4] W. Gardner, "3-D audio using Loudspeakers", Ph. D. Thesis, MIT,1997
- [5] Richard O. dudu, "Estimating Azimuth and Elevation from the Interaural Intensity Difference" Technical Report No. 4,NSF Grant No. IRI-9214233
- [6] Bill Gardner and Keith Martin, "HRTF Measurements of a KEMAR Dummy_head Microphone" MIT Media Lab Perceptual computing Technical Report #280,May,1994.
- [7] 정원섭, 이신련, 김순협 "음향환경 재사용 3D Sound 음장 재현장치에 관한 연구." 97 한국음향학회 학술발표대회 논문집.
- [8] 이신련, 김순협, 정원섭,"구조적 HRTF를 이용한 3차원 음향 재생 방법에 관한 연구", 98 한국음향학회 학술발표대회 논문집.