

입체음장재현을 위한 멀티채널시스템

이찬주, *박영진, **오시환, ***김윤선

한국과학기술원 기계공학과

소음 및 진동 제어 연구 센터

A Multichannel System for Virtual 3-D Sound Rendering

Chanjoo Lee, *Youngjin Park, **Si-Hwan Oh, ***Yoonsun Kim

Center for Noise and Vibration Control, Department of Mechanical Eng., KAIST

chanjoo@kaist.ac.kr, *yjpark@sorak.kaist.ac.kr, **osh@kaist.ac.kr, ***migael@bomun.kaist.ac.kr

ABSTRACT: Currently a multichannel system for virtual 3-D sound rendering is under development. Robust sound image formation and smooth real time interactivity are main design points. The system utilizes VBAP algorithm as virtual sound image positioning. Overall system settings can be easily configured. We developed software, RIMA, as a driving program of the system. At this stage, it is possible to position virtual sound images at arbitrary positions in three-dimensional space. The characteristics of the system are discussed. The system has been applied to the KAIST Bicycle Simulator to generate the virtual sound field.

Keywords: 3-D Sound, Realtime, Multichannel, VBAP

1. 서 론

3차원 가상입체음향이란 헤드폰, 또는 특정 위치에 놓인 스피커를 통해 가상 공간의 임의의 위치에 가상음원을 형성하는 것을 말한다. 종래의 가상현실 시스템에서는 상대적으로 가상 입체 영상기술에 많은 연구가 집중되었다. 하지만 사실적인 음향효과가 결여된 가상현실

시스템에는 적지 않은 제한점이 있다. 사람의 눈은 전방의 일정 영역만 바라볼 수 있기 때문에 볼 수 없는 영역에 대해서는 소리정보에 의존하며 실제로 사람의 청각은 시각 못지 않게 예민하게 반응한다. 그러므로 3차원 음향효과가 부여된 가상현실 시스템은 사용자의 모든 주위 환경을 가상공간으로 형성하는 효과가 있다. 3차원 입체 음향 재현 시스템의 종류는 두가지로 분류할 수 있다. 헤드폰을 사용하여 양쪽 귀의 두 지점에 음장을 형성하는 방법인 바이노럴 사운드 시스템(Binaural Sound System)과 다수의 스피커를 이용하는 방법인 멀티채널 사운드 시스템(Multichannel Sound System)이다. 현재 연구의 주류는 바이노럴 사운드(Binaural Sound)이다. 바이노럴 사운드에서 라우드스피커를 사용하는 경우에는 두 스피커의 상호간섭영향을 제거하기 위한 과정을 필요로 한다.¹

표 1에서 두 방법의 특성을 비교하였다 바이노럴 사운드는 간단한 하드웨어가 장점이지만 HRTF(Head Related Transfer Function)의 개인차로 인하여 정위감이 부정확하다는 문제점을 지니고 있다. 반면 여러대의 라우드스피커를 통한 입체음장 재현은 복잡한 하드웨어를 요구하지만 사용자에게 관계없이 정위감을 비교적 정확하게 구현할 수 있다는 장점이 있다.² 비용과 설치장소에 대한 제약보다 정확한 정위감이 우선시 되는 상황이라면 현재의 기술수준에서는 멀티채널을 이용한 가상입체음장재현 시스템이 바이노럴 사운드 시스템보다 효과적인 해결책이라고 할 수 있다.

이러한 멀티채널 시스템의 한 방식으로써 1997년에 Ville Pulkki는 VBAP (Vector Base Amplitude Panning)를 제안하였다.³ 본 논문에서는 VBAP에 기초한 멀티채널 사

표 1. 3차원 입체음장 재현의 두가지 방법

	Binaural Sound	Multichannel Sound
HRTF	필수적	불필요
정위감	앞뒤/위아래의 구분에 대한 개인차가 큼	모든 위치에 대하여 자연스러움
가상음장 재현영역	사용자의 움직임에 대하여 민감함	비교적 안정적
하드웨어	간단함. 표준적인 하드웨어 모델 존재	복잡함. 하드웨어 표준이 없음

시스템의 구현과정과 평가 결과를 기술하고, 응용사례로써 한국과학기술원의 가상 자전거 주행 시뮬레이터의 음향장치에 대하여 소개한다.

2. 멀티채널 시스템의 구현

구현하고자 하는 시스템의 설계목표는 다음과 같다.

- ① 개인차를 무시할 수 있는 정확한 정위감
- ② 사실적인 공간감
- ③ 사용자의 입력에 대한 빠른 반응 속도
- ④ 시스템 설치의 간편, 용이함
- ⑤ 고음질의 사운드 생성

2.1 멀티채널 구동 원리: VBAP

멀티채널 시스템을 이용하면 개인차에 관계없이 정확한 정위감을 구현할 수 있다. 그 중의 한 방식인 VBAP는 그림 1과 같은 방식으로 사용자를 둘러싸는 3차원공간상에 스피커를 배치하여 입체음장을 형성한다. 원점과 스피커를 연결하는 선을 단위벡터로 간주하고 세 개의 단위벡터가 모여서 하나의 영역을 형성한다. 이러한 영역들의 조합으로 전 공간을 벡터로 표현할 수 있다. 구체적인 예로써 O는 사용자가 위치하고 있는 지점, S_1, S_2, S_3 는 스피커의 위치, P 는 표현하고자 하는 가상 음원의 위치를 나타낸다. 사용자의 위치를 원점으로 가정하고 원점과 각 스피커를 연결하는 선을 단위벡터로 설정하면 가상 음원의 위치벡터는 다음의 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$P = g_1 S_1 + g_2 S_2 + g_3 S_3 \quad (1)$$

여기서 g_1, g_2, g_3 는 각 스피커의 계인값을 의미한다. 사용자와 각 스피커의 위치, 그리고 가상 음원의 위치는 이미 알고 있는 값이므로 스피커에 해당하는 계인값은 식 (1)을 행렬식으로 변환하여 계산하면 쉽게 구할 수 있다.

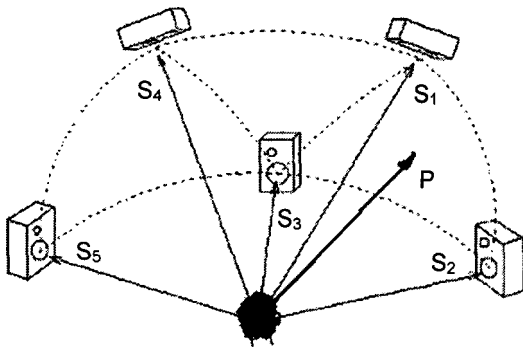


그림 1. VBAP에서 스피커 배치의 한 예

$$[g_1 \ g_2 \ g_3] = [P_1 \ P_2 \ P_3] \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{bmatrix}^{-1} \quad (2)$$

여기서 얻어진 계인값을 적절히 스케일링하여 해당 채널의 계인값을 조절하면 원하는 지점에 가상음원을 위치시킬 수 있다. 이론적으로는 스피커의 수와 위치에 제한을 받지 않고 가상음원을 임의의 지점에 생성하는 것이 가능하지만 자연스러운 음장재현을 위해서는 실험적인 검증과정이 필요하다. 2차원 공간상의 가상음원에 대해서는 최소한 5개의 스피커가 필요하다고 알려져 있지만⁴ 3차원 공간상에서의 효과적인 스피커 배치 문제에 대한 표준은 아직 마련되지 않고 있으며 이에 대한 연구가 진행중이다.

2.2 구동 프로그램 개발

RIMA(Realtime Interactive Multichannel Auralizer)는 멀티채널 오디오 시스템을 제어하기 위해 개발된 프로그램이다. Microsoft Visual C++를 이용하여 개발하였고 윈도우 환경에서 실행이 된다. 가상입체음장재현 시스템은 하나의 독립적인 시스템으로 사용되기 보다는 외부 시스템으로부터 입력되는 데이터에 따른 음장을 생성하므로 데이터 통신 기능이 필요하다. 여기서 외부 유닛은 가상 공간속에서의 활동을 위해 사용자가 직접 조작하는 장치를 의미한다. 통신 방식으로는 주고 받는 데이터의 양이 많지 않고 시스템에 걸리는 부하가 적어야 한다는 점을 고려하여 UDP 프로토콜을 사용하였다. 입력되는 데이터는 가상공간속에서의 사용자의 위치, 소리를 내는 물체의 종류와 좌표값이다. 이러한 데이터가 입력이 되면 해당되는 사운드 소스를 로딩한 후 멀티채널 구동 알고리즘을 거쳐서 실시간으로 스피커로 출력하게 된다. HRTF 필터링을 하는 과정이 없으므로 계산시간은 바이노럴 사운드보다 적게 걸린다. 여러 종류의 소리를 동시에 출력하는 경우에도 시간지연이 거의 발생하지 않았다.

음원은 1채널 16비트 44.1kHz로 샘플된 웨이브 파일을 사용한다. 원래의 소리에 입체 효과를 가하여 합성된 음을 출력하는 것이 목적이므로 저장되어 있는 음원 데이터는 아무런 효과가 가미되지 않은 상태이어야 한다. 시스템을 사용하기 전에 각 채널의 출력 레벨을 균일하게 초기화할 필요가 있는데 이는 채널레벨 조정 메뉴에서 수행할 수 있다.

2.3 하드웨어 구성

다수의 스피커로 각각 독립적인 신호를 내보내야 하므

로 여러 채널의 신호를 동시에 출력할 수 있는 오디오 장치가 필요하다. 8채널 및 16채널 이상을 지원하는 하드웨어가 시중에 나와있지만 가격 대 성능비를 고려할 때 적합하지 못하다. 일반적인 데스크탑 환경에서 널리 쓰이는 2채널 출력의 사운드 카드를 N개 조합하여 사용하면 2N개의 신호를 출력하는 멀티채널 시스템을 꾸밀 수 있다. 사운드 카드를 통해서 출력되는 신호는 앰프에서 증폭을 거친후 각각의 스피커로 보내진다. 현재는 8채널을 제어하고 있지만 추가 확장이 가능하다. 스피커의 위치는 설치되는 환경에 따라 매번 변할 수 있으므로 사용자가 스피커의 위치정보를 쉽게 수정할 수 있도록 하였다(그림 2). 전체적인 시스템은 그림 3에서 보는 것처럼 윈도우로 운영되는 펜티엄 PC를 기반으로 구성하였다.

3. 실험 및 평가

멀티채널 시스템으로 재현하는 음장과 실제 위치에 음원을 놓았을 때 생성되는 음장을 서로 비교하였다. 스피커는 평면상에 여섯 개의 채널을 반지름 2.1m의 원주상에 등간격으로 배치하였다(그림 4). 측정장치로는 HEAD Acoustics의 HMSIII를 이용하였고 음원으로부터 HMSIII의 양귀에 이르는 전달함수를 구하였다. θ 가 0° , 45° 일때의 두가지 경우에 대한 결과를 그림 5와 그림 6에 나타내었다.

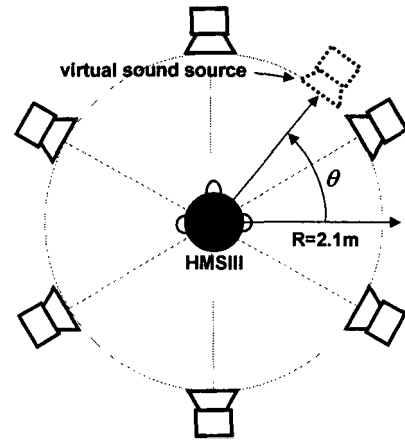


그림 4. 여섯개의 채널을 통한 가상음원 위치 재현

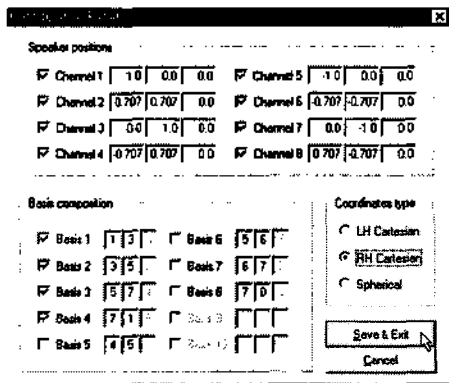


그림 2. 멀티채널 시스템의 환경설정

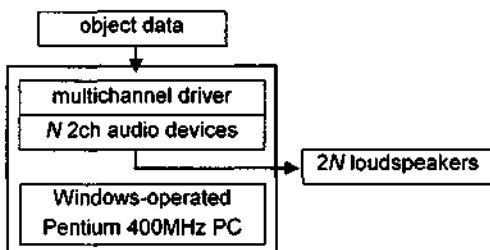


그림 3. 멀티채널 시스템 구성도

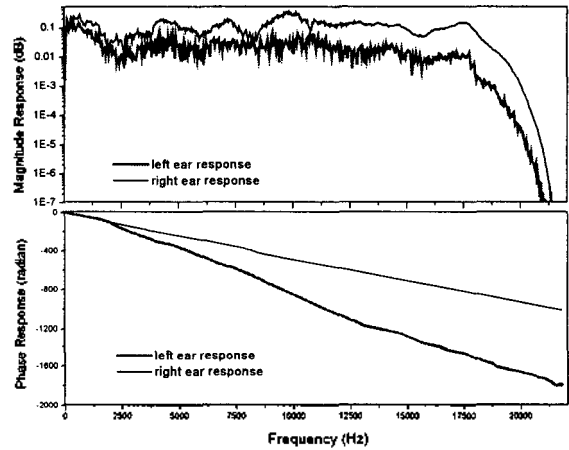


그림 5-1. 실제 음원에 대한 전달 함수의 주파수 응답 ($\theta = 0^\circ$)

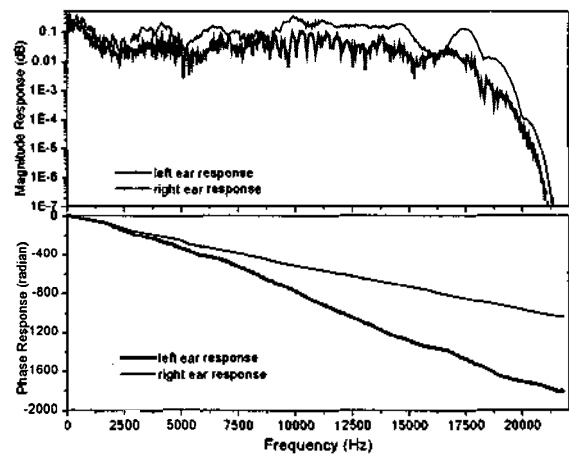


그림 5-2. 가상 음원에 대한 전달 함수의 주파수 응답 ($\theta = 0^\circ$)

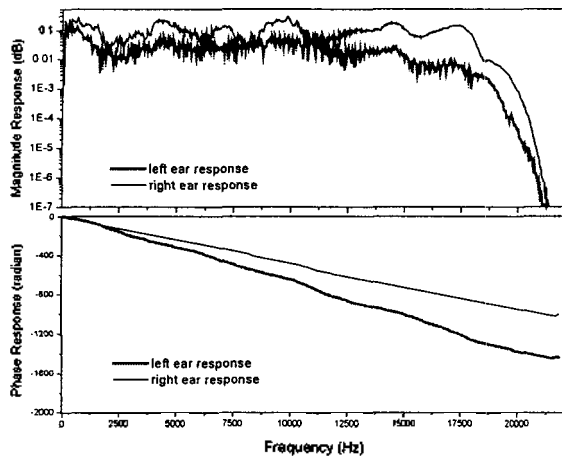


그림 6-1. 실제 음원에 대한 전달 함수의 주파수 응답 ($\theta = 45^\circ$)

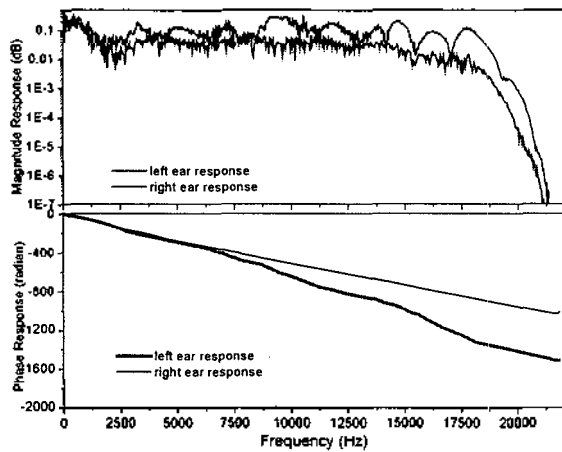


그림 6-2. 가상 음원에 대한 전달 함수의 주파수 응답 ($\theta = 45^\circ$)

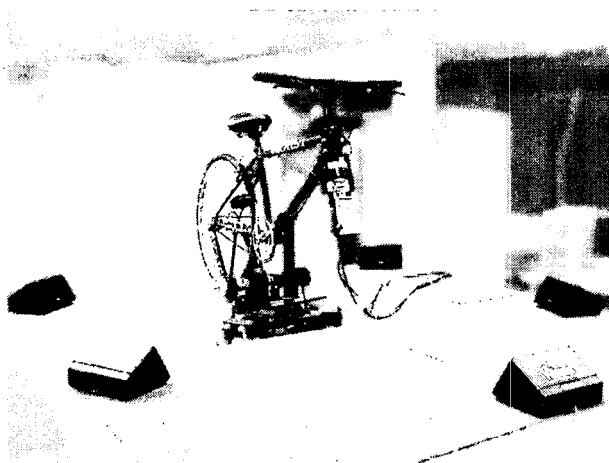


그림 7. 음향장치가 부착된 한국과학기술원의 자전거 주행 시뮬레이터

실제 음장과 가상 음장의 경우 모두 선형적인 위상 응답을 보인다. 오른쪽에서 들려오는 소리를 재현하였으므로 오른쪽 귀에 대한 주파수 응답은 왼쪽의 경우보다 더 큰 크기와 빠른 위상을 가지고 있다. 실제 음원은 물리적으로 단일 음원으로부터 신호를 출력한다. 가상 음원의 경우는 2채널 이상의 음원으로 하나의 음원을 묘사하고자 하므로 각 채널들이 정확히 동기화된 신호를 출력한다고 해도 소리의 전달 과정에서 상호간섭효과가 일어날 것이다. 그림 5와 6의 결과에서 실제 음장의 경우에 대한 고주파 영역에서의 주파수 응답 특성이 좀더 평탄한 반응을 보이는 것은 이러한 이유에 기인한다.

4. 응용사례

구축된 멀티채널 시스템은 한국과학기술원의 가상 자전거 주행 시뮬레이터에 응용되었다. 멀티채널 시스템은 가상 입체 영상을 담당하는 컴퓨터로부터 물체에 대한 좌표값 등을 입력받아서 실시간으로 내부적인 신호처리 과정을 거친 후 8개의 스피커로 출력을 한다. 시간적인 지연이 거의 없이 화면과 소리가 동기화되고 있으며 사용자를 중심으로 배치된 스피커를 통해 가상음원의 위치 재현은 자연스럽게 이루어지고 있다.

4. 향후 연구계획

현 시스템은 바이노럴 사운드에 비해 안정성이 높은 정위감을 재현하고 있지만 협소한 한 지점을 제어한다는 방식에 대한 한계 때문에 사용자의 모든 움직임에 대한 안정성을 보장할 수 없다. 이를 보완하기 위해 사용자를 둘러싸는 음장자체를 재현하기 위한 방법을 연구중에 있다. 그리고 설치되는 공간의 음향학적인 특성을 고려해야 할 것이며 가상적으로 음장감을 재현하기 위한 연구가 진행중이다.

5. 참고문헌

- ¹ Jerry Bauck and Duane H. Cooper, 1996, "Generalized Transaural Stereo and Applications", J. Audio Eng. Soc., vol. 44, no. 9, pp. 683-705.
- ² Mendel Kleiner et al., 1993, "Auralization-An Overview", J. Audio. Eng. Soc., vol. 41, no. 11, pp. 861-875.
- ³ Ville Pulkki, 1997, "Virtual Sound Source Positioning Using Vector Base Amplitude Panning", J. Audio. Eng. Soc., vol. 45, no. 6, pp. 456-466.
- ⁴ Mendel Kleiner and Peter Svensson, 1999, "A Short Course on Auralization", Technical University of Norway, Trondheim.