

헤드폰을 이용한 3차원 음장 제어시스템†

이 동형*, 김 성진, 정 의필, 김 규년, 이수동
울산대학교 컴퓨터 정보통신 공학부, E-mail : dhlee@cic.ulsan.ac.kr

3-D Sound Image Control for Two Channel Headphone†

D. H. Lee, S. J. Kim, U. P. Chong, K. N. Kim and S. D. Lee

Department of Computer Engineering, University of Ulsan

요 약

입체음향이란 음원의 위치에 따라 두 귀에 입력되는 신호를 제어함으로써 시각정보 없이 음상의 위치를 파악 할 수 있는 음이다. 헤드폰을 이용하면 음장이 머리 내에 위치하게 됨으로써 거리를 파악하는 것이 매우 힘들다.

본 논문에서는 모노음을 이용하여, 2채널 헤드폰에서 재생할 수 있는 3차원 음을 만들기 위하여 Interaural Time Difference(ITD)와 Interaural Intensity Difference(IID)를 이용한 머리 전달함수(Head Related Transfer Function:HRTF)를 만든 결과와 측정 HRTF 자료인 KEMAR Data를 이용한 결과를 비교하였으며, 거리 효과를 효과적으로 구현하기 위하여 잔향효과를 추가하여 음장을 머리밖으로 꺼냄으로써, 보다 향상된 3차원 음장 제어 시스템을 제안하고 실험하였다.

1. 서 론

사람은 두 귀로써 음의 위치를 파악할 수 있는 특별한 능력을 지니고 있으므로, 두 귀에 서로 다른 음을 들려 줌으로써 입체음향을 구성할 수 있다. 그러므로, 입체음향시스템을 구현하기 위하여, 두 개 이상의 채널을 사용하여야 한다. 만일 하나의 채널만 사용할 경우는 음장이 두 귀의 중앙에만 위치함으로써 입체음향을 재생할 수 있는 시스템을 구현하는 것이 불가능하다. 소리를 들을 때, 헤드폰을 이용할 경우에는 음장이 머리 내에 구성되기 때문에 이를 머리 밖으로 꺼내는 방법이 필요하다. 3차원 음상을 만드는 것은 방위각과 고도와 거리를 제어 할 수 있는 변수들이 필요하며, 본 논문에서는 음상을 제어하기 위해 ITD와 IID와 잔향 효과를 이용하였다. 그리고, MIT대학에서 공개하고 있는 KIMAR HATS를 이용하여 측정된 자료를 이용하여 구한 3차원 음상과 비교한다. 그리고, 보다 나은 소리를 구현하기 위하여

전처리와 후처리를 추가함으로써 보다 향상된 시스템을 제안한다.

2. 헤드폰을 이용한 3차원 입체음향 구현

헤드폰을 이용한 3차원 입체음향 재생은 머리 내 음상 정위, 공간감 그리고 거리감등의 여러 가지 문제점들을 가지고 있다. 본 실험에서는 헤드폰을 이용하여 하나의 모노음을 가지고 그림 1과 같이 고도를 바꾸어 가면서 청취자 앞과 좌우를 바꾸어 가는 실험을 하였다. 그리고 앞, 뒤, 좌측은 일정한 거리를 유지하게 하였다. 우측면에서는 거리감을 나타내기 위해 방위각과 높이가 달라짐에 따라 허음상이 청취자에서 멀어지도록 하는 헤드폰을 이용한 음상의 위치 제어하기 위한 실험이다.

그림 2는 실험 방법으로 Preprocessing과 전달함수를 처리하는 TF 처리 과정 그리고 Postprocessing으로 하나의 모노음을 공간감과 방향감, 그리고 거리감을 표현할 수 있는 3차원 입체음향을 만들었다. 그림 3은 입력되는 하나의 모노음에 대한 주파수를 보여주고 있다.

† 본 연구는 '99년도 정보통신 연구진흥원의 대학기초연구지원 사업과제의 지원으로 수행되었음

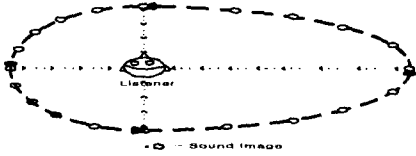


그림 1. 음상 제어의 예.

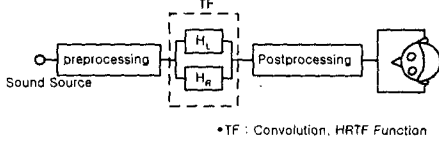


그림 2. 제안한 시스템의 블록 다이어그램.

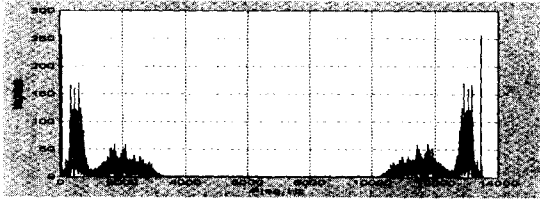
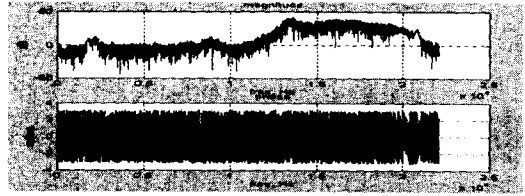


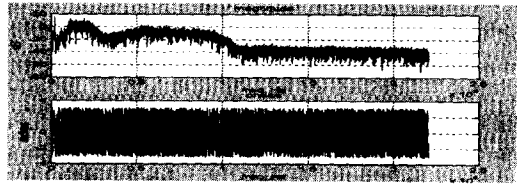
그림 3. 입력음의 fft.

그림4의 (a)는 입력되어지는 원음의 크기와 주파수 특성을 보여주고 있으며, (b)는 Preprocessing, (c)는 Postprocessing에 대한 출력으로 입력되는 입력음의 라우드니스를 조절한 출력한 그림이다. 라우드니스의 조절은 3차원 입체음향에서 거리감을 조절하기 위한 사용하는 방법 중 잔향성에서 균지연 τ 와 거리에 대한 변수 $1/g$ 를 사용하였다. 진폭이 1인 신호를 입력하면 출력 신호가 τ 간격으로 레벨이 $1/g$ 씩 감소된 신호가 출력하게 되는 것으로 뒤에서 앞으로 올라가면서 음상은 청취자에게서의 방위각과 높이 그리고 거리에 맞추어 $1/g$ 만큼 더하여 곱함으로써 라우드니스를 강하게 하였다. 그리고 청취자의 우측에서 고도가 0인 지점을 지나 때는 수평면에서 방위각만 변하게 하여 τ 와 $1/g$ 값을 다르게 하여 음의 세기를 약하게 바꾸었다. TF 단계인 전달함수 처리에서는 두 가지로 실험을 하였다. 첫 번째 실험은 HRTF 함수를 사용하여 HRTF Data 음을 만들어 입력음과 선형 시불변 시스템에 대한 시간 응답으로 소리의 직접음으로 만들었다. 두 번째 실험으로는 측정 HRTF Data 음인 KEMMA DATA를 입력음과 Convolution하여 직접음으로 만들었다. 그리고 Postprocessing은 방향감과 거리감 그리고 공간감을 주기 위해 IID, ITD, 역자승 법칙을 이용한 균지연 잔향기를 사용하였다. 잔향에서 Pinna와 Head delay 그리고 이들 각각에 대한 Fractional delay를 주었고 마지막으로는 단순한 Room model를 만들어 사

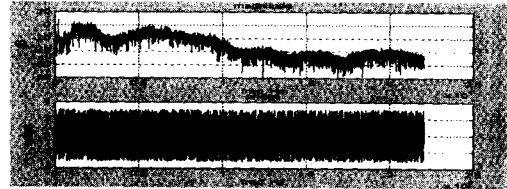
용하였는데 15ms delay, 15dB attenuation 하게 하였다.



(a) 원음의 주파수특성과 크기.



(b) Preprocessing 후의 출력음



(c) Postprocessing 후의 출력음

그림 4. 각 단계별 출력음의 크기와 위상
처음에는 음이 청취자의 앞에서 머리 바로 후두부까지 둘레를 서서히 왼쪽에서 오른쪽으로 내려가는 것처럼 걸어 가게끔 하였다. 이 때에는 elevation과 azimuth만을 바꾸어 주었다. 다음으로는 후두부에서 정면으로 올라가는 것을 정위하면서 청취자로부터 멀어지도록 하였고 청취자의 오른쪽 귀와 같은 높이에서 부터는 다시 청취자에서 올라가는 것처럼 만들면서 가까워지도록 음상의 정위를 만들어 주었다. 고도와 방위각은 두 귀 축을 대상으로 앞, 뒤 전후가 바뀌어지도록 하였다. 거리감은 뒤에서 앞으로 음상이 생기므로 균지연 τ 값과 $1/g$ 값을 다르게 조절 보았다. 프로그램 언어는 Matlab 5.2과 GRADO LABS SR80 헤드폰을 이용하여 실험을 하였다.

3. 실험 결과

그림 2은 제안한 시스템을 보여주고 있다. 고도와 방위각에 대한 변수들이 필요하다. 테이블 1은 실험에 사용된 고도($-\pi/2 \sim \pi/2$), 방위각($-\pi/2 \sim \pi/2$)의 값들을 나타낸 것이다. $-\pi/2$ 에서 π 까지 방위각은 $-\pi/2 \sim \pi/2$ 의 반대 부분에 해당되므로 스테레오음의 오른쪽, 왼

쪽값을 반대로 취하였다. 테이블 1의 전방부분은 청취자의 앞의 값이다.

Table 1. Azimuth and elevation.

elevation	0	10	20	30	40	50	10	20	30	40
azimuth	-90	-75	-55	-19	-19	0	19	36	55	75

(a) Front part.

elevation	-10	-20	-30	-40	-30	-20	-10	0
azimuth	64	51	32	13	0	-13	-32	-51

(b) Back part.

그림 5.에서와 같이 거리감을 나타내기 위해 진폭이 1인 신호를 입력하면 출력 신호가 τ 간격으로 레벨이 1/g씩 감소되는 신호가 출력하게 하여 뒤에서 앞으로 갈수록 음상과 청취자의 위치 각도 그리고 높이에 맞추어 1/g만큼 더하여 곱함으로써 라우드니스를 강하게 하였다.

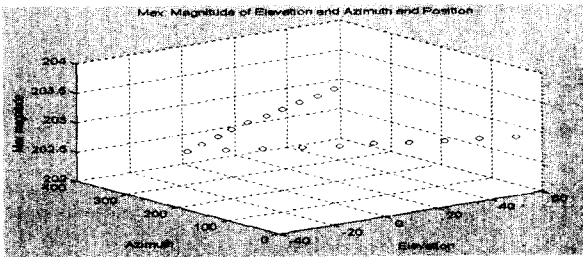
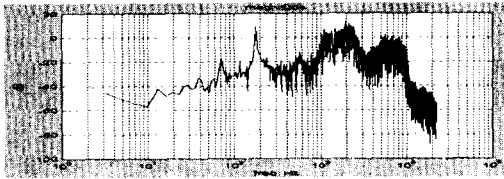
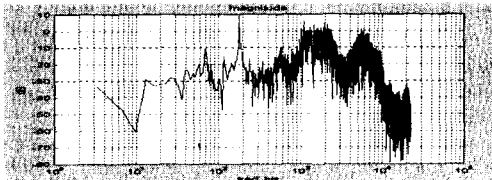


그림. 5. 고도와 방위각에 대한 Sound들의 레벨 차이

TF 단계인 전달함수 처리에서는 두 가지로 실험을 하였다. 그림 6.과 같이 첫 번째 실험은 HRTF함수를 사용하여 HRTF Data 음을 만들어 입력음과의 선형시불변 시스템에 대한 Time 응답을 읽어 직접음으로 만들었다.



(a) HRTF data.



(b) HRTF function.

그림 6. 결과 HRTF

두 번째 실험으로는 KEMMA DATA를 이용하여 입력 음과 Convolution한 결과를 직접음으로 만들었다. 그리고 Postprocessing은 방향감과 거리감 그리고 공간감을 주

기 위해 IID, ITD, 역자승 법칙을 이용한 균지연 잔향기를 사용하였다. 잔향에서 Pinna와 Head delay 그리고 이들 각각에 대한 Fractional delay를 주었고 마지막으로 단순한 Room model를 만들어 사용하였는데 15ms delay, 15dB attenuation 하게 하였다.

4. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 헤드폰을 이용한 3차원 입체음향 처리기의 알고리즘을 개발하였다. 하나의 모노음으로 라우드니스를 조절하여 머리 내 정위되는 음상을 거리감을 만들어 주고 이를 HRTF함수만을 사용하여 3차원 입체음향 만들어 보았고 그리고 KEMMA HRTF Data를 사용하여 Convolution한 3차원 입체음향과 비교하여 보았다. 약간의 차이는 있지만 같은 결과가 나왔다. 헤드폰을 이용한 3차원 입체음향 재생은 머리 내 음상 정위와 정면의 음상 정위에 관한 기술 개발과 연구가 절실히 필요하며 거리감과 공간감을 표현하기 위해 음원의 위치와 거리에 따른 소리의 크기, 반사음, 잔향과 시각 정보에 대하여 많은 연구가 필요하다고 본다.

참고문헌

- [1] D. Begault, *3-D Sound for Virtual Reality and Multimedia*, Academic Press, Boston, MA, 1994.
- [2] J. Blauert. *Spatial Hearing*. MIT Press, Cambridge, MA, 1983.
- [3] William G. Gardner. *Transaural 3-D audio*. M.I.T Media Lab. Technical Report No.342. 1995.
- [4] Brown, C. P. & Duda, R.O., *A structural Model for Binaural Sound Synthesis*, IEEE Trans. of Speech and Audio Processing, vol.6, pp. 476-488. Sept. 1998.
- [5] Woodworth, R. S. and Schlosberg, G., *Experimental Psychology*, pp. 349-361. Holt, Rinehard and Winston, NY. 1962.
- [6] Alan V. Oppenheim & Alan S. Willsky, *Signal & Systems*, pp.128,1997.
- [7] HRTF Measurements of a KEMAR Dummy-Head Microphone MIT Media Lab Perceptual Computing - Technical Report #280.
- [8] Richard O.duda and Carlos Avendano and V. R. Algazi, *An Adaptable Ellipsoidal Head Model for the Interaural Time Difference*, IEEE, 1999.
- [9] 강 성훈, 강 경옥, 입체음향, 기전연구사, 1997.