

가상공간에서의 3차원 입체영상과 입체음향 생성에 관한 연구

김현라*, 이규동*, 임정빈**

*국립목포해양대학교 대학원, **국립목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

A Study on the Creation of Stereoscopic Image and Three-Dimensional Sound in a Virtual Space

Hyun-Ra Kim*, Kyu-Dong Lee*, Jeong-Bin Yim**

*Graduate School of Mokpo National Maritime University, Korea,

**Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Korea,

E-mail : hyunra999@hotmail.com

요약문

3차원 입체영상과 음향은 가상현실(virtual reality) 분야에서 현실감 있는 가상공간을 구성하는데 제일 중요한 요소인데 지금까지 이들은 분리되어 연구되어왔다. 이 연구에서는 가상공간에서 3차원 입체영상과 입체음향을 하나의 통일된 메카니즘으로 구성하기 위한 알고리즘에 대해서 기술하였다.

1. 서론

가상현실(Virtual Reality: VR)에서는 현실세계와 유사한 현실감 있는 입체영상과 동시에 3차원 입체음향을 부가함으로써 현실감을 증대할 수 있다. 3차원 입체영상은 두 눈 사이의 양안(span of eyes)에 의한 이루어진다. 그리고, 입체음향은 두 귀가 갖는 시간차(Interaural Time Difference: ITD), 음압차(Interaural Level Difference: ILD) 등에 의해 구현된다[1]-[4].

지금까지 3차원 입체영상은 오락분야에서의 가상현실 분야, 교육훈련 시뮬레이터 분야, 시각계측 분야 등에서 연구가 진행되고 있으며, 국내의 경우 90년대 중반부터 활발히 진행되어 왔다. 입체음향의 경우는 머리전달함수(Head Related Transfer Function: HRTF)를 이용한 재생기술이 상당한 수준 진척되어 있다[5].

이 연구에서는 이와 같이 현재까지 진행된 3차원 입체영상과 입체음향 기술을 혼합하여 VR 분야의 가상공간에서 조화롭게 발생할 수 있는 혼합 3차원 영상-음향 메카니즘과 알고리즘을 개발하고자 한다.

2. 3차원 영상-음향 생성 이론

2.1 3차원 영상

3차원 영상 구현 방법에는 상호교차 방식(interlace method), 페이지중첩 방식(page flipping method), 브레이크

방식(blanking method) 등이 있다. 이 연구에서는 상호교차 방식의 한 분야인 이중동기화 방식(Synchronous Doubling Method: SDM)을 이용하였는데, 이 방식은 단일 메모리뱅크에 좌우 각각의 영상을 저장한 후, CRT에 번갈아 가면서 영상을 나타내는 방법이다[6]-[8].

그림 1은 관측자가 두 개의 눈 'Left eye'와 'Right eye'를 갖기 때문에 물체를 입체로 지각하는 메커니즘을 나타낸다. 관측자가 두 개의 눈을 이용하여 물체를 볼 때 두개의 눈동자는 물체에 집중된다.

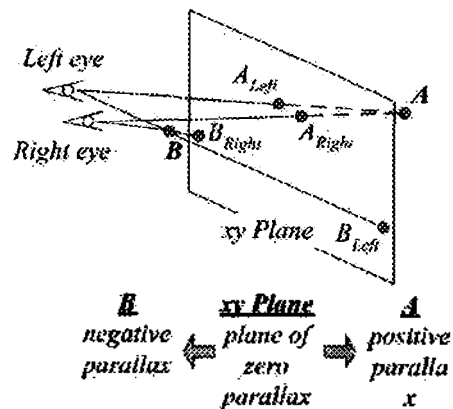


그림 1. 관측자가 물체 A와 B를 3차원 영상으로 지각하는 경우의 입체 메카니즘.

그림 1과 같이 공간에 하나의 투명판이 있다고 가정하면, 관측자가 A 물체를 볼 때, 투명판에 나타나는 점은 'A Left'와 'A Right'가 될 것이다. 그리고, 투명판보다 앞에 있는 물체 B의 경우는 투명판에 'B Left'와 'B Right'로 나타나게 된다. 만약, 이 투명판이 PC 모니터라고 가정하고, SDM법을 적용하여 모니터의 'A Left' 영상은 관측자의 왼쪽 눈에만 보이게 하고, 'A Right'는 관측자의 오른쪽 눈에만 보이게 한다면, 관측자는 모니터 뒤쪽에 물체 A가 있다고 보게 될 것이다. 반대로 물체 B의 경우는 모니터 앞으로 들출

된 것으로 느낄 것이다. 이 것이 모니터를 이용한 3차원 입체영상 메카니즘이며, 이 때 양 쪽 눈에 분리하여 모니터의 영상을 전달하는 장치 중의 하나가 Shutter Glasses 이다.

이러한 메카니즘은 다음과 같이 이론식을 정리할 수 있다. 다음 그림 2와 같이 물체가 존재하는 세계좌표계(world coordinate system)와 x-y 평면으로 구성된 스크린좌표계(screen coordinate system)를 고려한다.

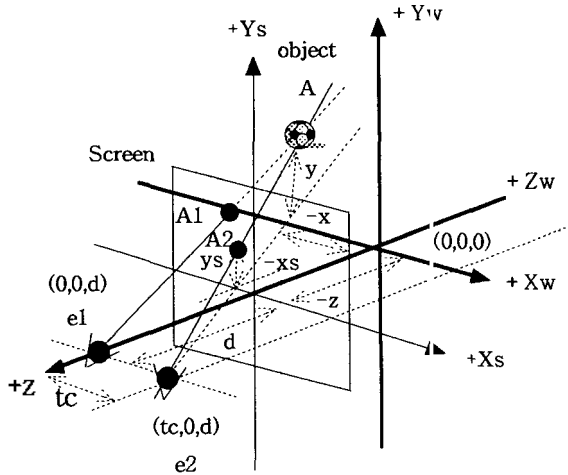


그림 2. 세계좌표계와 스크린좌표계의 정의

그림 2에서, 스크린좌표는 세계좌표로부터 $-z$ 만큼 이동해 있고, 관측자 눈 e1은 스크린좌표로부터 $(0, 0, d)$ 위치에 떨어져 있다. 세계좌표계에 있는 물체 A(축구공으로 표시)의 위치 (x, y, z) 와 x-y 평면으로 구성된 스크린좌표계의 점 (x_s, y_s) 사이에는 다음 식(1)과 같은 관계를 갖는다.

$$\left. \begin{aligned} \frac{-x_s}{d} &= \frac{-x}{d-z} \\ \frac{y_s}{d} &= \frac{y}{d-z} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

따라서, 좌표 값 (x_s, y_s) 는 다음 식(2)이 된다.

$$\left(\frac{xd}{d-z}, \frac{yd}{d-z} \right) \quad (2)$$

다음에는 눈의 위치 e1을 x축을 따라서 t_c 거리만큼 $(0, 0, d)$ 에서 $(t_c, 0, d)$ 로 수평이동하여 e2 위치에 두면, 물체 A에 대한 스크린 상의 투영점은 A2가 된다. 그러므로 x에 관해서는 다음 식(3)으로 나타낼 수 있고,

$$\frac{-x_s}{d} = \frac{-x}{d-z} = \frac{t_c}{d-z} = \frac{-x_s}{-z} \quad (3)$$

y는 변동이 없기 때문에 스크린좌표에 기점되는 좌표 값

(x_s, y_s) 는 다음 식 (4)와 같이 전개된다.

$$\left(\frac{xd-zt_c}{d-z}, \frac{yd}{d-z} \right) \quad (4)$$

위의 식(1)부터 식 (4)까지는 하나의 눈에 대해서만 전개한 것이다. 두 개의 눈에 대해서 전개하면 다음과 같다. 두 눈 사이의 간격을 t_c 로 두면, t_c 는 서로 $t_c/2$ 만큼 반대 방향으로 떨어져 있으므로, 위의 식(4)는 다음 식(5)와 식(6)과 같이 전개된다.

$$\left(\frac{xd + \frac{zt_c}{2}}{d-z}, \frac{yd}{d-z} \right) \quad (5)$$

$$\left(\frac{xd - \frac{zt_c}{2}}{d-z}, \frac{yd}{d-z} \right) \quad (6)$$

여기서, 식 (5)는 왼쪽 눈에 대한 것이고, 식(6)은 오른쪽 눈에 관한 것이다. 그림 2에 나타낸 바와 같이, 물체 A의 왼쪽 눈에 대한 투영 A1점이 오른쪽 눈에 대한 투영 A2 보다 왼쪽에 있으므로 오른쪽 투영 A2의 x 좌표 값에서 오른쪽 투영 A1의 x 좌표 값을 감한 값은 양(+)이 되는데 이것을 양의 시차(positive parallax)라 한다. 이 때 관찰자에게 발생하는 현상은, 물체 A가 모니터 뒤쪽에 있는 것으로 보이게 된다. 이와 반대로 x 좌표 값의 차가 음(-)이 되는 현상을 음의 시차(negative parallax)라 한다. 이 현상은 실제 물체 A가 모니터 앞에서 나타나 보인다. 또한, 좌우 투영점이 같게되는 경우는 영 시차(zero parallax)라하며, 물체는 평면에 있게 보인다.

이러한 메카니즘을 이용하여 모니터 평면 상에 (A1, A2)와 같이 쌍(pair) 영상을 나타내고, SDM 법을 적용하게 되면 관측자는 물체를 입체로 보게된다. 그리고, 시차는 시각의 관점으로 나타낼 수 있는데, 만약 오른쪽 투영과 왼쪽 투영 사이의 간격이 $P(\text{cm})$ 격리되어 있고, 사용자의 눈이 모니터로부터 $d(\text{cm})$ 떨어져 있다면, 시차 각도 β 는 다음 식(7)로 나타낸대[9].

$$\beta = 2 \arctan \frac{P}{2d} \quad (6)$$

최적의 β 결정 방법에 대해서는 다양한 방법이 영상신호처리 이론에서 다루지고 있는데, 일반적으로 $\beta = 1.5^\circ$ 이상을 넘지 않도록 조정하는 것이 가장 편안한 입체영상을 느낄 수 있다.

2.2 3차원 음향

입체 음향이란 음원이 존재하는 공간에 직접 위치하지 않은 청취자가 재생된 음향을 들었을 때 음향으로부터 공간

적 단서(방향감, 거리감 및 공간감)를 지각할 수 있는 음향을 의미한다. 단순한 모노 음(monaural sound)이나 스테레오 음(stereo sound)에 공간적 지각 변수를 추가하여 입체음향 신호로 변환하는 기술을 입체음향 생성기술이라 한다.

입체음향을 구현하기 위해서는 공간상의 특정위치에 음원을 위치시키는 음상정위 기술이 필수적이다. 2채널 재생 방식에 있어서 음상정위 효과는 다음 그림 3과 같이 음원 $x(n)$ 과 HRTF($hrtf_R(n), hrtf_L(n)$)의 컨볼루션(convolution)으로 생성할 수 있다[10],[11].

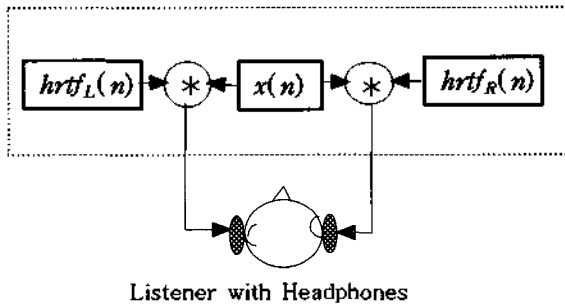


그림 3. HRTF 이용한 3차원 음향 생성 방법

바이노럴(binaural) 타입의 2채널 입체음향 생성방법에는 녹음과 필터를 이용하는 방식이 있다. 녹음에 의한 방법은 청취자의 양쪽 귀에 장착한 두 개의 마이크로폰을 이용하여 현장 음을 녹음하고 이를 재생하는 방식이다. 모든 사람이 자신의 바이노럴 신호를 녹음할 수 없기 때문에, 현재는 주로 표준 머리모형을 가진 더미헤드(dummy head)에 장착한 마이크로폰을 통하여 바이노럴 신호를 녹음하고 이를 청취자에게 들려주는 방식을 이용한다.

필터에 의한 방법은 원음을 변형하여 입체음을 생성하는 방식으로, 주로 HRTF가 필터로 이용된다. HRTF는 무향실에서, 더미헤드를 중심으로 구의 형태로 여러 각도에 배치한 스피커로부터 임펄스 신호(impulsive signal)를 방사시켜, 더미헤드의 양쪽 귀에 장착한 마이크로폰으로 측정한다. 이 HRTF와 원음을 컨볼루션하면 원하는 공간상의 위치에 음상을 정위시킬 수 있다.

2.3 혼합 메커니즘

3차원 음향 생성에 HRTF를 이용한 경우, HRTF 측정이 거리 r , 방위 θ , 고각 α 을 갖는 구좌표계(spherical coordinate)를 기준으로 측정한 것이고, 3차원 영상은 x, y, z 의 직각좌표계로 구성되기 때문에 이들 사이의 좌표변환이 필요하다. 그림 4는 직각좌표계에 구좌표를 도식한 것이다.

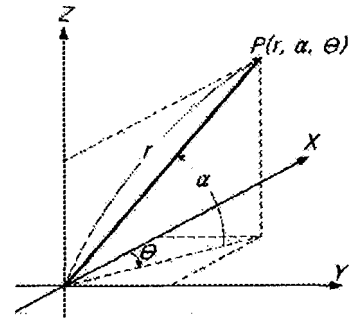


그림 4. 직각좌표계와 구좌표계 사이의 좌표변환

그림 4의 가상공간에서, (r, θ, α) 로 구성된 음원을 직각좌표계로 표현하면, 다음 식(7)과 같다.

$$\begin{aligned} x &= r \cos \alpha \cos \theta \\ y &= r \cos \alpha \sin \theta \\ z &= r \sin \alpha \end{aligned} \quad (7)$$

역으로, 구좌표를 중심으로하는 경우는 다음 식(8)로 나타낸다.

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \alpha &= \sin^{-1} \frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \\ \theta &= \tan^{-1} \frac{y}{x} \end{aligned} \quad (8)$$

3. 실험

3.1 실험

그림 5는 SDM를 이용하여 이 연구에서 개발한 게임으로, 하나의 화면에 왼쪽과 오른쪽 영상을 분리하여 나타낸 가상동굴이다. 이 가상공간은, 아바타(Avata)를 동굴에 입장 시켜서 서로 적을 먼저 찾는 축이 이기는 간단한 게임의 한 장면을 나타낸다. 위와 아래 2개의 그림은 동일 한 것이 아니고 각각 인간의 좌측 눈과 우측 눈 사이의 양안 차이만큼의 시차를 둔 결과를 나타낸다.

그림 5를 시청자가 Shutter Glasses를 쓰고 보면, 시청자는 그림 5의 두 개의 화면이 하나의 영상으로 겹쳐져서 보이게 된다. 그리고, 이와 동시에 HRTF를 이용하여 동굴에서 발생하는 발자국소리와 총소리 등을 3차원 음향을 생성하여 장면과 일치시켰다. 이 실험에서는 실시간으로 음향과 영상을 동시에 발생시키는 경우, 방대한 실험장비가 필요하기 때문에 실험을 간단히 하기 위하여 미리 HRTF를 이용해서 3차원 음향을 생성하고, 이를 .WAV 파일로 저장한 후, 장면과 어울리도록 조작하는 방법으로 음향을 생성하였다.

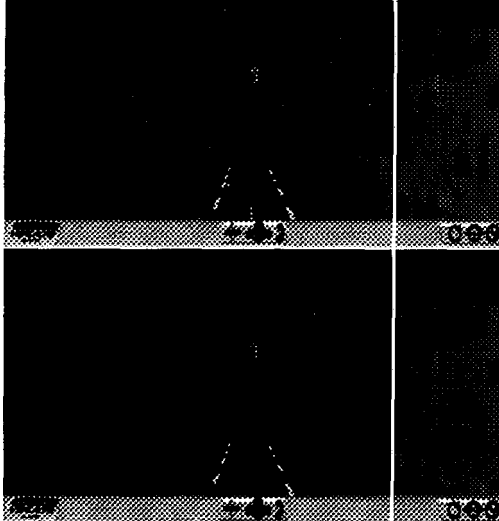


그림 5. 모니터에 생성한 입체영상 결과.

3.2 평가방법

3차원 영상과 음향에 대한 평가는 사람이 음을 듣고 주관적으로 평가하는 심리음향 평가방법(Psychophysical Assessment Method: PAM)을 이용하였다.

특히, 영상과 음향의 자연스러운 정도를 측정하기 위하여 6단계 척도(scale)를 이용하여 평가하고 수광화 한 후, 다음 식(9)의 평균 평가척도 값 A_{SF} 로 평가하였다[12]-[13].

$$A_{SF} = \frac{\|SD(x_i, y_i, z_i)\|}{LM} \quad (9)$$

여기서, $\|SD(x_i, y_i, z_i)\|$: (x_i, y_i, z_i) 에 있는 물체의 영상과 음향을 듣고 청취자가 응답한 평가척도의 절대값. L : 청취자의 수, M : 청취자 1인당 실험 반복 수.

3.3 평가결과

평가는 4명의 대학생이 각각 Shutter Glasses를 착용한 상태에서 실시간으로 게임을 진행하면서, 특정 영상이 돌출되거나 함몰될 때 영상과 음의 자연스러움과 음장감 등을 종합적으로 평가하였다.

평가결과, 모니터 앞쪽으로 약 2m 정도까지 영상이 돌출되었고, 모니터 후방으로는 약 10m까지 함몰되는 결과를 나타냈으며, 동시에 총이나 발자국 소리 등이 현실감있게 생성됨을 확인하였다. 그러나, 영상이 2m 돌출 또는 10m 함몰되는 경우 음향이 그에 상응하는 효과를 발휘하는지에 대해서는 정확하게 판단할 수 없었다. 그 이유는 영상과 음향이 혼합된 상태로 전개되기 때문에 발생하는 일종의 심리현상 때문인 것으로 생각되는데, 앞으로는 영상과 음향을 별도로 분리하여 측정할 것과 혼합하여 측정하는 경우의 효과에 대해서도 실험해야 할 것으로 사료된다.

4. 결론

이 연구에서는 가상현실(virtual reality) 분야에서, 가상공간에 3차원 입체영상과 입체음향을 통합하여 구현하기 위하여, 3차원 입체영상 메커니즘과 음향 메커니즘을 분석하고, 영상-음향의 혼합 메커니즘을 개발하였다. 3차원 동굴 게임을 만들어서 실험한 결과 동굴에서의 총소리와 발자국 소리 등이 영상과 잘 어울리게 발생함을 알 수 있었다.

그러나, 아직까지 완전한 메커니즘의 분석과 실시간 음-영상 생성에 대해서 실험하지 못하였기 때문에 이에 대해서 지속적으로 연구 해 나갈 예정이다.

참고문헌

- [1] 임정빈, "가상현실 선박조종 시뮬레이터 구현을 위한 3차원 음장생성(I): 머리전달함수 모델링," *한국향해학회지* 제22권(제3호), pp.17~25, 1998. 9.
- [2] Joe Gradecki, *The Virtual Reality*, John Wiley & Sons, Inc., 1994, pp.89-108.
- [3] Tomas Moller and Eric Haines, *Real-Time Rendering*, AK Peters Natick, Massachusetts, 1971, pp.23-60.
- [4] Bob Akka, *Writing Stereoscopic Software for StereoGraphics Systems Using Microsoft Windows OpenGL*, StereoGraphics Co., 1998.
- [5] 임정빈, *머리전달함수 모델링에 의한 3차원 음장 재생에 관한 연구*, 박사학위논문, 1997. 2.
- [6] Cosmo Player <http://www.cai.com>
- [7] Parallel Graphic <http://www.parallelgraphics.com>
- [8] Blaxxon 사 <http://www.blaxxon.com>
- [9] SIGGRAPH'97, *Advanced OpenGL Programs*, <http://www.sgi.com>
- [10] 임정빈, "가상현실 선박조종 시뮬레이터 구현을 위한 3차원 음장생성(II): 음장제어," *한국향해학회지* 제22권(제3호), pp.27~34, 1998. 9.
- [11] 임정빈, "가상현실 선박시뮬레이터의 배경 구현," *해양환경안전학회지*, 제6권(제1호), pp. 11-22, 2000.1.
- [12] 임정빈, 공길영, 구자영, "HMD를 사용한 가상현실 시뮬레이터 시스템의 프로토타입 개발," *한국향해학회지*, 제24권(제3호), pp.133-140, 2000.6
- [13] Jeong-Bin Yim, "Virtual Reality to Implement Next Generation Ship Simulator," *Proc. KIN-CIN Joint Symposium*, pp.135-145, Oct. 1999.
- [14] Jeong-Bin Yim, "Development of Navigation Training Simulator by Virtual Reality," *Proc. IAIN World Congress in Association with U.S. ION Annual Meeting*, June 26-28, 2000.