

가상 현실에서의 효과적 음장 재현에 관한 연구

임준희*, 방승범*, 황 신*, 김순협*, 정완섭**, 권휴상**

*광운대학교 컴퓨터공학과

**한국표준과학연구원 음향진동그룹

A Study On Efficient Method of Sound Field Generation for Virtual Reality

Joonhee Yim*, Seungbeum Bhang*, Shin Hwang*, Soonhyob Kim*, Wansup Cheung**, Hyusang Kwon**

*Dept. of Computer Engineering, Kwangwoon Univ.

** Sound and Vibration Group, KRISS

요약

지금까지 가상 현실 또는 가상 환경에 관한 많은 연구가 있었지만 그 대부분이 시각적 효과에 관한 연구에 치우쳐 있었다. 그 결과로 3D 그래픽등 시각적 효과에 관한 부분은 상당한 수준에 올라 있으나 청각적, 음향적 부분은 아직도 발전 정도가 상대적으로 낮다. 가상 현실을 위한 음향은 크게 HRTF등을 이용한 음상 정위와, 음장 재현으로 나눌 수 있다. 본 논문에서는 가상 현실 체험자의 이동에 따라 효과적으로 음장을 재현하는 방법에 대해 논하고자 한다. 본 논문에서 제안하는 시스템은 크게 전처리 부분과 실시간 처리 부분으로 구성되어 있으며 전처리 과정에서 음장을 계산하여 실시간 처리 부분에서 체험자의 위치를 추적하여 음장을 재현한다.

1. 서론

현재 가상 현실은 크게는 훈련을 위한 비행 시뮬레이터나 방송의 가상 스튜디오로부터 작게는 3D 게임까지 널리 쓰이고 있다. 그리고 컴퓨터 등 하드웨어, 소프트웨어의 발달로 가상 현실의 품질도 나날이 좋아지고 있다. 그러나 시각적 효과의 발전에 비해 음향 효과의 발전은 상대적으로 뒤떨어져 있다.

현재 가상 현실에서의 음향 연구는 크게 세 가지 분야로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째로 입체 음향에 관한 연구이다. 입체 음향 연구는 HRTF를 이용한 연구가 가장 많이 행해지고 있으며, 가상 현실과 관련된 것이 아니라도 국내, 해외에서 많이 행해지고 있으며 그 결

과로 고품질 하드웨어 솔루션 또는 DirectSound 3D, Sensaura, Aural사의 Vortex 등 PC에서도 사용 가능한 소프트웨어, 하드웨어 솔루션이 발표되고 있다. 그리고 HRTF를 모델링하기 위한 연구도 행해지고 있다[1]. 또 다른 분야는 음장 재현에 관한 연구이다. 음장 시뮬레이션과 재현에 관한 연구는 이미 오래 전부터 축소 모형을 이용하거나 레이 트레이싱(ray tracing), 이미지 모델링(image modeling), 또는 빔 트레이싱(beam tracing, pyramid tracing) 등 기하학적 음향학을 이용하여 연구되어 왔으며, 최근에는 기하학적 음향학을 가상 현실에서 실시간으로 구현하려는 연구가 행해지고

있다[2][3]. 그러나 아직까지는 요구되는 하드웨어 성능이 상당히 높은 편이다. 음장과 입체 음향을 함께 구현하려면 약 1200 megaMIPS 정도가 필요하다[4]. 세 번째 연구 방향은 음원 자체의 발생 방법을 모델링하여 가상 현실 체험자의 행동에 따라 동적으로 음원이 생성되도록 하는 연구이다[5]. 이것은 체험자가 가상 현실 안의 물체와 충돌 할 때의 동작, 이동 방향, 속도 등에 따라 음원을 합성, 변조하는 방법으로 동적인 음원 생성이 가능한 방법이나 역시 요구되는 하드웨어 성능이 상당히 높다.

2. 음장 시뮬레이션

음장 시뮬레이션을 위한 방법은 크게 레이 트레이싱, 이미지 모델링, 빔 트레이싱 등으로 나눌 수 있다.

2.1 레이 트레이싱(Ray Tracing)

레이 트레이싱은 구 모양의 음원에서 방사선(ray)을 발사하여 각 선의 반사를 추적하며 주어진 공간의 음장을 계산하는 방법이다(그림 1). 이 방법은 정확도는 조금 떨어지지만 계산 방법이 간단하기 때문에 구현이 쉽다는 장점이 있다[3].

2.2 이미지 모델링(Image Modeling)

이미지 모델링은 소리의 반사를 반사면에 대한 거울상(mirror image) 위치의 가상 음원에서 나온 소리로 생각하여 계산하는 방법(그림 2)으로 정확도는 상당히 높지만 요구되는 계산량이 많아서 복잡한 모양을 가진 환경에서 사용하기 힘들다는 단점이 있다.

2.3 빔 트레이싱(Beam Tracing)

빔 트레이싱은 레이 트레이싱과 이미지 모델링의 단점을 보완하기 위한 방법으로 구 모양의 음원에서 삼각형 또는 사각형의 빔을 발사하고, 그 빔을 추적하여 주어진 공간의 음장을 계산하는 방법이다. 이 방법은 이미지 모델링보다 계산이 간단하고 적은 계산량으로도 레이 트레이싱과 비슷한 정확도를 가진 결과를 얻을 수 있는 장점이 있다. 레이 트레이싱과 빔 트레이싱을 비교한 연구 결과에 따르면 복잡한 공간에서도 1,024개의 빔을 사용하여 10,000개의 빔을 사용한 것과 비슷한 결과를 얻었다[6]. 그러나 빔 트레이싱은 3차원 공간에서 반사면이 복잡할 경우 주어진 공간의 음장 모델링이 조금 힘들다는 단점이 있다[3].

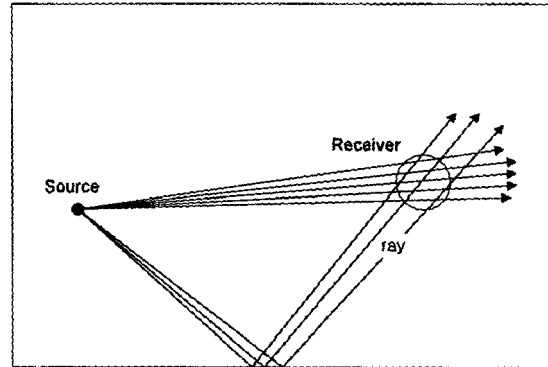


그림 1. 레이 트레이싱

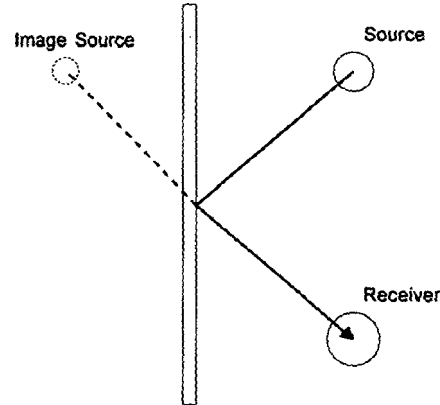


그림 2. 이미지 모델링

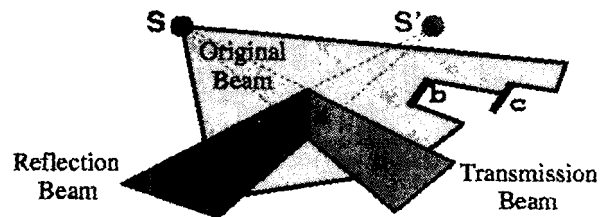


그림 3. 빔 트레이싱

3. 가상 현실에서의 음장 시뮬레이션

가상 현실에서의 음장 시뮬레이션은 음원의 위치가 정해졌을 때 음원에서 체험자의 위치까지 공간 음향을 기하학적 음향학을 사용하여 계산한다. 이 방법에서는 계산이 쉬운 빔 트레이싱이 주로 사용되며, 주로 초기 반사음까지 계산하고 잔향은 통계적 방법으로 처리한다[2]. 한 예로 Acoustetron은 초기 반사음을 2차까지만

계산한다[2]. 음장 재현을 위한 시스템은 전처리 부분과 실시간 처리 부분으로 구성된다. 전처리 부분은 빔 트레이싱등을 사용하여 음원 위치에서 청취자 위치까지의 경로를 따라 음장을 계산하고, 실시간 처리 부분은 청취자의 위치로부터 음원의 위치를 역추적하여 계산된 음장을 불러내어 음장을 재현한다.

4. 제안된 시스템

본 논문에서 제안된 시스템은 크게 전처리 부분과 실시간 음장 재현 부분으로 구성된다. 전처리 부분은 공간 분할과 빔 트레이싱을 이용한 음장 계산 단계로 구성되고, 실시간 처리 부분은 체험자 위치 추적 단계와 불러온 음장을 이용하여 음장 효과를 재현하는 단계로 나뉜다(그림 4).

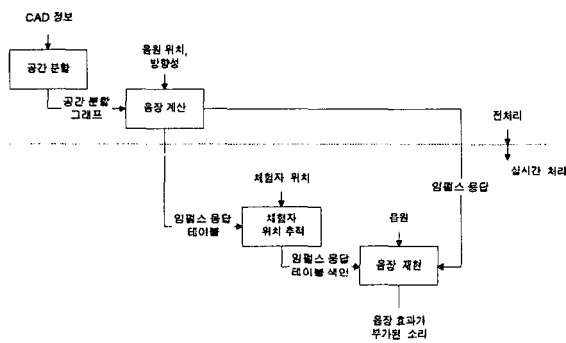
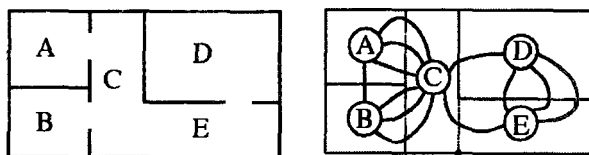


그림 4. 제안된 시스템 구성도

4.1 공간 분할

공간 분할 단계에서는 주어진 CAD 데이터를 분석하여 셀 단위로 나누고, 이웃한 셀 사이의 관계를 그래프로 나타낸다(그림 5).



a. 입력 모형

b. 셀 그래프

그림 5. 공간 분할의 예

주어진 공간을 셀 단위로 분할하기 위해 셀 크기를 선택할 필요가 있다. 셀의 크기는 가청 주파수 중 가장 높은 20kHz보다 작게 나누는 방법이 제안되었으나[2]

이 경우 전처리 단계 중 음장 계산 부분이나 실시간 처리 단계의 체험자 위치 추적이나 음장 재현 부분에 상당히 많은 계산량이 필요하게 되어 구현에 어려움이 따른다. 그러나 사무실 환경이나 건물 내부의 경우 콘서트 홀이나 체육관 같이 큰 공간이 아닌 경우를 제외하면 하나의 공간(그림 5.a와 셀 A와 같은)은 거의 일정한 잔향 특성을 가지고 있다고 생각할 수 있으므로 하나의 사무실이나 방은 하나의 셀로 나누어 계산한다.

4.2 음장 계산

음장 계산은 음원이 위치한 셀, 음원의 방향성등을 입력값으로 주고, 그 음원에 의해 형성된 음장을 빔 트레이싱을 사용해 계산한다. 계산은 Auralization 프로그램을 사용하며, 하나의 셀에는 여러 음원에 의한 음장이 영향을 미칠 수 있으므로 하나의 셀에 대해 가상 현실 시나리오에 포함된 다수의 음원을 동시에 시뮬레이션한다. 음장 시뮬레이션에서 초기 반사음과 후기 잔향까지 계산하면 계산 시간이 오래 걸리게 되므로 2 - 3차까지의 초기 반사음만을 구현하고, 잔향은 delay와 IIR 필터를 이용한 reverberator를 구현하여 음장 재현 단계에서 처리한다.

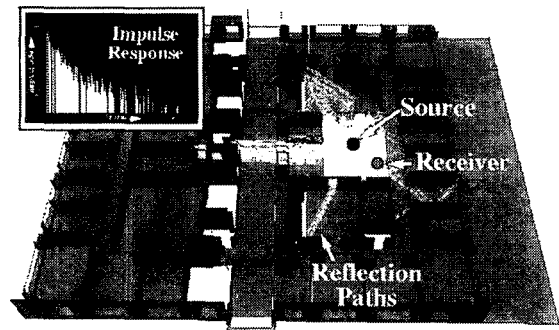


그림 6. 빔 트레이싱을 이용한 음장 시뮬레이션

일단 각 셀에 대한 음장 시뮬레이션이 끝나면 계산된 음장의 임펄스 응답을 테이블로 저장하고, 계산된 임펄스 응답이 저장된 위치를 나타내는 색인을 만들어서 체험자 위치 추적 단계로 전달한다.

4.3 체험자 위치 추적

가상 현실 체험자의 위치는 현재 사용자가 어느 셀 안에 위치하고 있는지 결정하는 단계이다. 사용자의 위치를 포함하는 셀은 그래프 구조를 탐색하여 얻으며 사용자가 위치한 셀을 결정했으면 그 셀에 해당하는 임펄스 응답 테이블의 색인을 음장 재현 단계로 전달한다.

4.4 음장 재현

체험자 위치에 따른 임펄스 응답 테이블의 색인이 전 달되면 그 색인에 해당하는 임펄스 응답을 임펄스 응답 테이블에서 읽어서 음원과 컨볼루션하여 음장 효과를 재현한다. 여기서 컨볼루션은 초기 반사음에 대해서만 실행하며 잔향은 잔향기(reverberator)와 dealy machine 을 구현하여 처리한다. 그러나 이 방법을 사용하면 잔향 밀도 조절이 되지 않아 실제 환경의 잔향을 충실히 반영하지 못하게 될 가능성이 있다.

5. 고찰 및 향후 계획

본 논문에서 제안한 음장 재현 시스템은 많은 계산을 필요로 하지 않으면서 가상 현실에서 필요한 음장 효과를 재현할 수 있다. 초기 반사음까지의 음장을 계산하여 처리하므로 음장 효과를 단순히 잔향기만으로 처리할 때보다는 사실에 가까운 음장 효과를 나타낼 수 있다. 그러나 임펄스 응답 계산을 초기 반사음으로 제한하고, 잔향을 추가하는 방식을 사용하기 때문에 잔향 부분에서는 정확한 음장 효과를 재현하기 힘들다는 한계가 있다. 또한 전처리 과정에서 계산한 음장을 실시간 처리에서 사용하므로 가상 현실의 공간이 능동적으로 바뀔 경우(예, 닫힌 상태로 계산된 창문이나 문이 열리는 경우) 그 환경을 반영하지 못할 수 있다.

현재 주어진 환경의 임펄스 응답 중 초기 반사음 부분을 추출하기 위해 auralization 프로그램이나 실제 측정된 환경의 임펄스 응답을 분석하는 단계에 있으며 앞으로 계속하여 잔향기 사용을 위한 dealy와 잔향기 구현, reality engine과의 통신을 위한 모듈 구현등을 할 예정이다.

6. 참고 문헌

- [1] Phillip Brown, Modeling the elevation characteristics of the head related impulse response.
- [2] Thomas Funkhouser, A Beam Tracing Approach to Acoustic Modeling for Interactive Virtual Environments, SIGGRAPH 98.
- [3] Thomas Funkhouser, Real-Time Acoustic Modeling for Distributed Virtual Environments
- [4] Ken Pimentel & Kevin Teixeira, Virtual Reality - through the new looking glass, McGraw-Hill, Inc., 1993
- [5] James K. Hann, Investigating Sounds and Motions in Virtual Environments, Presence, Vol. 7,

No. 1, 1998

- [6] Farina - "Pyramid Tracing vs. Ray Tracing for the simulation of sound propagation in large rooms" - In the volume "Computational Acoustics and its Environmental Applications", pp. 109-116, Editor C.A. Brebbia, Computational Mechanics Publications, Southampton (GB) 1995.