가상 환경에서 사운드의 반사와 회절을 이용한 실시간 소리 제어 방법

박소연[O], 박성아[*], 김종현[*]
[O]강남대학교 소프트웨어응용학부,
[*]강남대학교 소프트웨어응용학부
e-mail: jonghyunkim@kangnam.ac.kr

Real-time Sound Control Method Based on Reflection and Diffraction of Sound in Virtual Environment

Soyeon Park[O], Seong-A Park[*], Jong-Hyun Kim[*]
[O]School of Software Application, Kangnam University,
[*]School of Software Application, Kangnam University

● 요 약 ●

본 논문에서는 실제 현실에서 표현되는 소리의 특징인 파동(Sound wave)과 흐름(Sound flow) 그리고 회절(Diffraction of sound)을 가상환경에서 실시간으로 표현할 수 있는 방법을 제안한다. 우리의 접근 방식은 소리가 재생되는 위치로부터 장애물 여부를 판단하고, 장애물이 존재할 시, 장애물로 인해 반사와 회절된 새로운 소리 위치를 계산한다. 이 과정에서 레이트레이싱 기반으로 장애물과의 충돌 여부를 판단하고, 충돌에 의해 굴절된 벡터를 이용하여 장애물 너머에서 들리는 소리의 크기를 계산하며, 충돌된 레이의 개수에 따라 소리의 크기를 감쇠시킨다. 본 논문에서 제안하는 방법을 이용한 소리의 회절은 물리 기반 접근법에서 나타나는 회절 형태를 실시간으로 표현했으며, 장애물에 따라서 회절 패턴이 변경되고, 이에 따라 소리의 크기가 자연스럽게 조절되는 결과를 보여준다. 이 같은 실험은 실제 현실에서 나타나는 소리의 퍼짐과 같은 특징을 거의 유사하게 복원해냈다.

키워드: 소리(Sound), 굴절 벡터(Refraction vector), 소리의 흐름(Sound flow), 소리의 회절(Diffraction of sound), 소리의 파동(Sound wave)

I. Introduction

최근에 가상공간을 실제 현실처럼 표현하는 것이 중요하게 여겨지면서 제일 많은 비중을 차지하는 감각은 대부분 시각적인 요소였다. 이를 뒷받침 하듯이, 게임이나 가상현실 콘텐츠에서는 시각적인 요소를 만족하고자 현재 다양한 몰입감에 대한 기술들이 개발이 이루어지고 있다[1]. 하지만, 시각적인 요소만으로 현실을 표현하는데 있어서 한계가 있다.

실제로 시각적인 요소에 의존하지 못하는 상황, 보여야 할 것이 보이지 않는 상황, 시야가 차단되거나 시야를 인지하지 못할 상황이 오면 청각적인 요소는 매우 중요하게 된다. 어두컴컴한 환경에서 소리가 임의의 순서로 재생되면 사람은 그에 따른 반응 하며 고개를 돌리게 된다. 또한, 장애물로 인해 시야가 가려져도 사운드의 회절로 인해 사람은 그 소리를 듣게 된다[2-4]. 하지만 많은 콘텐츠는 이러한 청각적인 특징을 고려하지 못하고 있으며, 특히 물체와의 상호작용에 따른 소리의 변화, 현실과 유사한 물리적인 소리의 특징이 반영되고 있지 않다. 만약에 이 소리의 부재가 지속하면 시각적인 요소가 뛰어날지라도 사용자가 소리에서 나타나는 부자연스러움 때문에 몰입감이 저하되고 인지의 부조화를 느낄 수 있다. 반대로 청각적인 요소가 잘 어울려진다면 사용자는 시각적인 요소에 더해지면서 몰입감을 올려주고, 청각적인 요소만으로도 다양한 정보들을 사용자에게 제공함으로써 새로운 방식으로 콘텐츠를 즐기게 할 수 있다. 이러한 방법을 구현하기 위한 본 논문의 기여도는 아래와 같다 :

- 장애물에 의해 표현되는 사운드의 회절 패턴을 계산하는 방법
- 소리의 반사 및 회절에 따라 소리의 크기를 제어하는 방법

II. The Proposed Scheme

1. Sound reflection and refraction according to obstacles

본 논문에서는 장애물에 따른 소리의 반사와 굴절을 계산하기 몇 가지 가정을 한다. 이 가정을 기반으로 기본적인 장애물과 사용자(청

취자)는 다음과 같이 배치하였다 (Fig. 1 참조).

- 지형이 평평하다.
- 소리에 방향성이 있다.
- 소리 크기의 높낮이가 일정하다.

장애물 여부를 판단하기 위해서는 기본적인 장애물과 듣는 사람(사용자)가 아래와 같이 존재한다고 배경을 설정한다.

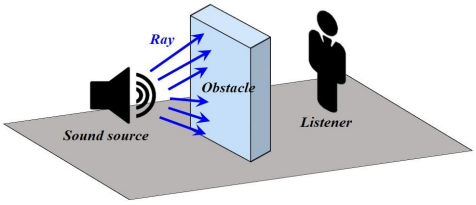


Fig. 1. Scene configuration.

Fig. 1에서 보듯이 장애물의 판단을 위해 소리 근원지(Source source)로부터 특정 방향을 지정하여 레이를 쏴준다. 이때, 레이는 소리의 파동을 의미하며 레이의 생성 범위는 소리의 방향으로부터 반구 방향으로 지정하였으며, 본 논문에서는 20개의 랜덤 샘플링을 통해 레이를 생성하였다 (Fig. 2참조).

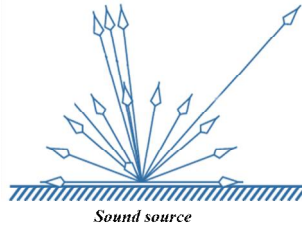


Fig. 2. Hemisphere ray.

장애물을 검사한 레이가 충돌이 일어나게 되면 장애물을 기점으로 레이를 굴절시킨다. 그 이유는 소리 또한 빛과 마찬가지로 특정 물체에 충돌되면 반사와 굴절이 일어나기 때문이다. 이 같은 특징을 표현하고자 Fig. 3에서 굴절을 나타내는 빨간색 레이가 랜덤 하게 굴절되며, 이와 같은 결과가 의미하는 바는 소리의 굴절을 의미 한다 (Fig. 3 참조).

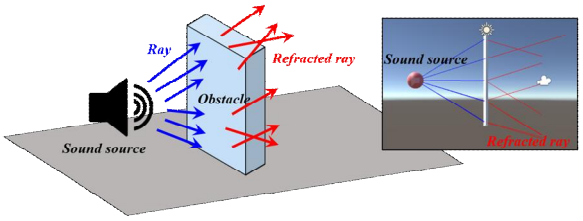


Fig. 3. Refracted ray.

최종적으로 장애물로 인한 소리 흐름의 변화는 굴절된 레이들로부터 사본 소리를 계산하는 데 사용 한다 (Fig. 4 참조). 여기서 사본 소리는 원본 소리로부터 굴절된 소리이며, 이것을 기반으로 장애물 너머에 있는 청취자에게 들리는 소리를 생성한다.

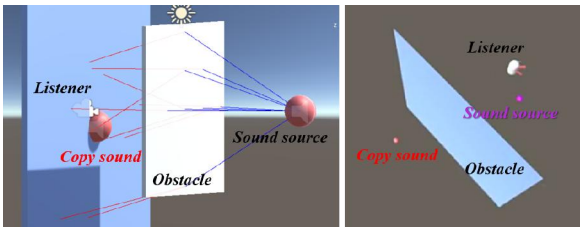


Fig. 4. Calculation of copy source.

사본 소리의 크기는 장애물에 충돌된 횟수에 비례하여 원본 소리의 크기를 기준으로 감쇠시켰다. 이때 α을 이용하여 감쇠하는 양을 조절하였으며, 이는 장애물의 재질마다 다르게 설정하였다. 또한, 장애물이 소리 근원지로부터 얼마나 가려졌는지, 예를 들어 장애물이 반만 가려질 경우, 장애물이 다 가렸을 경우, 장애물에 가려지지 않았을 경우마다 소리의 감쇠 정도가 달라야 한다. 이를 고려하기 위해 사본 소리의 크기인 S^v을 아래와 같이 계산 한다 (수식 2 참조).

$$S^v = (1-\alpha h)^2 \quad (2)$$

여기서 h는 장애물에 충돌된 레이의 개수이다. 또한, 사본 소리의 위치는 아래와 같이 계산 한다 (수식 3 참조).

$$S^p = \frac{\sum_{k=0}^{\| Wh \|} Wh + \left(\sum_{k=0}^{\| Wnh \|} Wnh \cdot \ w \right)}{n} \quad (3)$$

여기서 n은 굴절 벡터의 개수, Wh와 Wnh는 각각 장애물과 충돌된 굴절 벡터, 충돌되지 않은 벡터를 의미한다. w는 장애물의 재질에 따른 굴절 정도를 의미한다. 이로써, 장애물이 있을 시에 장애물로 인한 사본 소리 감소와 소리 방향에 따른 굴절 위치를 고려함으로써 장애물 너머 생기는 소리의 굴절 흐름을 만들어주었다. 또한, 장애물의 기울기와 소리 방향의 연관성을 고려하여, 이 두 개의 벡터 범위에서 소리의 굴절 벡터를 생성되도록 하였다 (Fig. 5 참조).

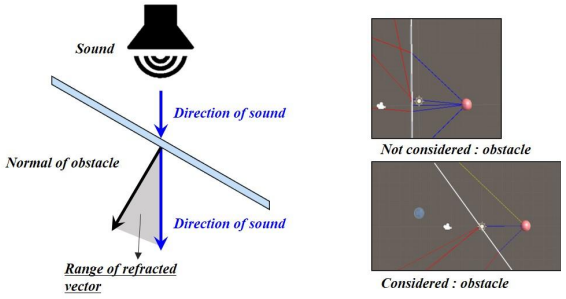
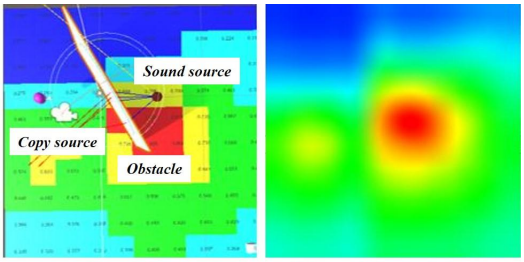


Fig. 5. Calculating range of refracted vector.

2. Calculating diffraction of sound caused by obstacle

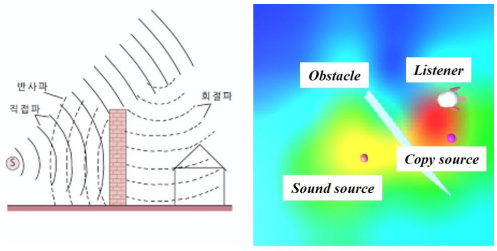
우리는 생성한 사본 소리가 장애물을 잘 반영하여 현실에서의 장애물 너머에 있는 소리의 흐름과 유사한 흐름을 만들어 냈는지 확인해 볼 필요가 있다. 우리는 청취자 역할을 하는 객체를 움직이면서 들리는 소리가 벽에 다가갈수록 커지고 벽이 얼마나 가려졌는지에 따라, 같은 위치에서도 벽이 많이 가려졌다면 작게, 벽이 조금만 가려졌다면 크게 들리는 것을 확인했다.



(a) Magnitude map (b) Smoothed magnitude map

Fig. 6. Visualizing magnitude map.

또한, 장애물의 기울기에 따라 사본 소리의 위치가 바뀌며 왼쪽에서 크게 들릴지, 오른쪽에서 크게 들리지 소리의 크기가 반영되는 것을 확인했다. 다만, 이런 부분을 직관적으로 알기 위해서 소리의 흐름을 시각적으로 보여주기 위해 소리의 크기를 보여줄 수 있는 강조 맵(Magnitude map)을 만들었다 (Fig. 6 참조). 격자마다 해당 위치에서의 들리는 소리를 측정하여 소리 중 최댓값으로 나눔으로써 격자마다 0~1 사이의 값을 가지도록 하였다. 이때 값이 1에 가까울수록 소리가 크다는 것을 의미하여 붉은 계열로, 0에 가까울수록 소리가 작다는 것을 의미하며 파란 계열로 격자의 색상을 표현하였다.



(a) Diffraction of sound (b) Smoothed magnitude map

Fig. 7. Diffraction of sound with our method.

장애물에 따른 소리의 굴절과 반사로 인해 나타나는 현상인 소리의 회절 흐름과 우리의 방법을 비교해보면 형태가 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. (Fig. 7 참조). 이로써, 위 방법들을 통해 가상 환경에서 소리의 굴절과 반사를 고려한 유사한 소리 흐름 형태가 나타나게 된 것을 확인할 수 있다.

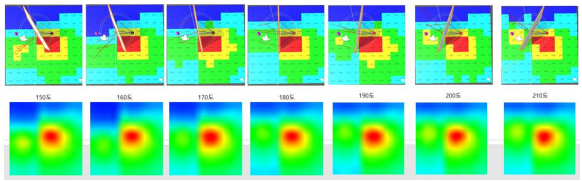


Fig. 8. Diffraction map that changes with rotating obstacles.

Fig. 8의 결과들은 장애물의 기울기를 고려하여 소리의 크기와 회절이 잘 구현되었는지를 확인되기 위한 결과이다. 각 장애물의 기울기의 각도에 따라서 사본 소리가 이동하고 이에 따라서 소리의 흐름도 이동되는 것을 확인할 수 있다.

III. Conclusions

본 논문에서는 소리의 근원지로부터 특정 방향으로 장애물 여부를 판단하여 장애물이 있을 시, 사본 소리를 만들어 소리의 감쇠, 소리의 위치를 지정해주었다. 또한, 사본 소리의 위치를 지정하기 위해 소리의 굴절 벡터를 이용하였는데 이를 만들 때 장애물의 기울기를 고려한 소리의 굴절 벡터가 만들어지도록 구현하였다. 이를 통해 결과적으로 실제 소리 현상인 소리의 회절과 같은 소리의 파동/흐름을 구현하였다. 나아가 소리의 파동/흐름이 직관적으로 보여주기 위해 강도 맵을 만들었으며 실제로 소리의 파동/흐름을 잘 구현된 것을 입증하고 위 방법을 제안했다. 향후 우리는 지형을 고려한 소리 파동/흐름 구현 및 소리 흐름/파동을 고려한 NPC 움직임에 대해 추가 연구할 계획이다.

REFERENCES

[1] Boyd, D. Eric, and Bernadett Koles. "An introduction to the special issue “virtual reality in marketing”: definition, theory and practice.", pp. 441-444, 2019.

[2] Van Den Doel, Kees, Paul G. Kry, and Dinesh K. Pai. "FoleyAutomatic: physically-based sound effects for interactive simulation and animation." In Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 537-544. 2001.

[3] De Poli, G. and Rocchesso, D., 1998. Physically based sound modelling. Organised Sound, 3(1), pp.61-76.

[4] Okada, M., Onoye, T. and Kobayashi, W., 2012. A ray tracing simulation of sound diffraction based on the analytic secondary source model. IEEE transactions on audio, speech, and language processing, 20(9), pp.2448-2460.