

# 바람의 이류를 고려한 사운드 전파의 변형

김중현<sup>o</sup>

<sup>o</sup>인하대학교 소프트웨어융합대학(디자인테크놀로지학과)

e-mail: jonghyunkim@inha.ac.kr<sup>o</sup>

## Deformation of Sound Propagation to Account for Wind Advection

Jong-Hyun Kim<sup>o</sup>

<sup>o</sup>College of Software and Convergence (Dept. of Design Technology), Inha University

### ● 요약 ●

본 논문에서는 바람의 이류(Advection)를 고려하여 사운드의 전파를 변형하는 방법을 제시한다. 사운드는 공기와 같은 매질의 진동을 통해 전파되는 파동이며, 이런 바람의 이동 방향은 사운드 에너지 전파에 직접적인 영향을 주며, 본 논문에서는 이를 광선추적법(Raytracing) 기반으로 모델링한다. 기존의 사운드 전파는 물리기반, 기하처리(Geometry processing), 혼합기법(Hybrid method) 등의 방법이 제안됐으며, 다양한 장면에서 좋은 결과를 만들어냈다. 하지만 바람의 움직임은 유체역학을 기반으로 한 나비에-스토크스 방정식(Navier-Stokes equation)에 의해 표현되기 때문에 사운드 전파만으로는 바람의 영향을 고려한 전파 형태를 모델링할 수 없다. 본 논문에서는 바람의 유동 중 이류를 고려하여 사운드 맵을 효율적으로 변형할 수 있는 방법을 제시한다.

**키워드:** 사운드 전파(Sound propagation), 바람의 이류(Wind advection), 광선추적법(Raytracing), 나비에-스토크스 방정식(Navier-Stokes equation)

## I. Introduction

비디오 게임이나 애니메이션에서 사운드 생성 및 합성은 콘텐츠 분위기와 몰입을 향상시킬 수 있기 때문에 콘텐츠 제작에 있어서 매우 중요하다. 사운드의 물리적 특징(반사, 굴절, 회절 등)을 온전히 표현하려면 계산량이 커지기 때문에 실시간 애플리케이션이나 게임에서는 활용이 어려워진다. 이 문제는 물리 기반으로 사운드를 합성하는 방법에서도 나타난다[1]. 일반적으로 유한요소법(Finite element method)은 질량-스프링(Mass-spring) 시스템보다 정확하게 모델을 근사시킬 수 있고, 표면으로부터 표현되는 진동을 통해 사운드를 표현할 수 있다[2]. 이 접근법은 물체 표면의 운동 방정식에 대한 해석적 해를 계산하는 방법이며 이를 통해 사운드 에너지를 계산한다. 그러나 이 방법은 실시간 처리가 어려울 뿐만 아니라 계산 복잡도가 표면을 이루고 있는 삼각형 혹은 다면체 개수에 의존하기 때문에 계산량이 크다. 물론 알고리즘을 경량화하여 혼합현실에 적용한 방법들도 있지만 바람의 방향과 크기를 고려하지 못하고 (Fig. 1 참조), 장애물과 같은 정적인 장면에서의 상호작용만을 고려하였다.

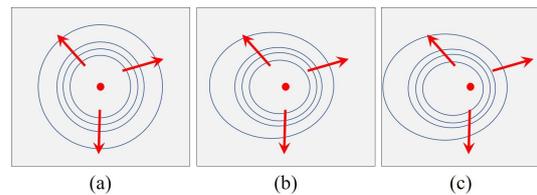


Fig. 1. Deformation of sound propagation by wind direction and magnitude : (a) calm, (b) light wind(direction : leftward), (c) strong wind(direction : rightward).

## II. The Proposed Scheme

바람을 고려한 사운드 전파의 변형을 개발할 때 사운드 크기 맵은 2차원 데이터 형태로 제공된다고 가정한다[3]. 격자 데이터에는 사운드 크기가 스칼라 형태로 저장되어 있다. 바람이 부는 방향을 알고 있다면 사운드의 전파 방향이 바람을 어떻게 변형시키고 이동되는지 알아야 한다. 필요한 정보는 사운드 전파 방향을 표현한 광선(Ray)이 통과하는 노드를 찾고, 그 노드에 있는 사운드의 크기를 알아야 한다.

바람이 부는 순간에서 사운드 크기의 추정은 사운드 크기 값의 시간 보간(Time interpolation)이 아니라, 본 논문에서는 사운드 크기 이류를 기반으로 사운드 전파를 변형하는 기법을 제안한다. 사운드 크기에 대한 이류는 준 라그랑주 이류(Semi-Lagrangian advection)를 사용하여 바람이 부는 순간에서 변형된 사운드 크기를 추정한다.

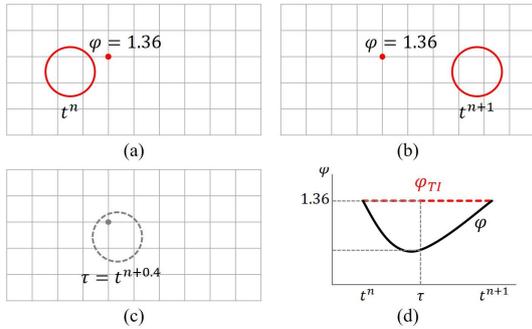


Fig. 2. Characterizing sound loudness changes with wind in a simple example : (a) the snapshot at  $t^n$ , (b) the snapshot at  $t^{n+1}$ , (c) the situation at  $\tau$ , (d) the sound loudness changes.

시간 보간과 위치기반으로 추정된 변형된 사운드 크기는 잘못된 결과를 제공한다 (Fig. 2 참조). 위 그림과 같이 바람이 일정한 속도로 수평 방향을 따라 운동한다고 했을 때 이를 표현할 수 있는 간단한 방식은 마치 사운드 근원지가 바람의 방향과 동일하게 이동하는 것처럼 표현하는 것이다. 하지만 바람은 유동적인 형태를 가지고 있고 유체 방정식에 의해 이류되기 때문에 비선형적인 움직임을 가진다. 이런 간단한 상황에서도 시간 보간으로 추정된 값인  $\varphi_{TI}$ 는 실제 값인  $\varphi$ 와 상당한 차이가 난다.

### III. Conclusions

본 논문에서는 유체의 이류과정에서 사용되는 준 라그랑주 기법을 이용하여 바람 방향에 따라 사운드 전파가 변형되는 알고리즘을 제안했다. 이 방법을 통해 사운드의 반사, 굴절, 회절뿐만 아니라, 환경적 요소인 바람을 고려하여 사운드의 크기를 제어할 수 있기 때문에 게임, 혼합현실, 메타버스 등에서 환경을 모델링할 때 활용될 수 있다. Fig. 3은 바람이 각각 오른쪽(Fig. 3b 참조)과 왼쪽방향(Fig. 3c 참조)으로 불었을 때 변형된 사운드 전파 맵을 계산한 결과이다. 바람이 없을 때(Fig. 3a 참조)와 비교했을 때 사운드 전파 형태가 변형된 결과를 볼 수 있다. 이 맵에서 표현된 색은 사운드의 크기이다.

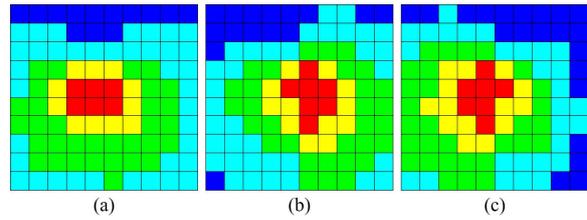


Fig. 3. Sound propagation deformed by wind direction and magnitude : (a) calm, (b) light wind (direction : rightward), (c) strong wind (direction : leftward).

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported in part by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education under Grant 2022R1F1A1063180

## REFERENCES

- [1] Fontana, Federico, and Roberto Bresin. "Physics-based sound synthesis and control: crushing, walking and running by crumpling sounds." In Proc. colloquium on musical informatics, pp. 109-114. 2003.
- [2] O'Brien, James F., Perry R. Cook, and Georg Essl. "Synthesizing sounds from physically based motion." ACM SIGGRAPH, pp. 529-536. 2001.
- [3] Jong-Hyun Kim and Jong-In Choi. "Efficient sound control method in virtual environments using raytracing based diffraction", Journal of the Korea society of computer and information, Vol. 27, No. 11, pp. 81-87. 2022.