

실시간 합성을 위한 가상 충돌음 표현

이정선*, 남양희*

*이화여자대학교 디지털미디어학부

e-mail: vivarena@ewhain.net, yanghee@ewha.ac.kr

Collision Sound Representation for Realtime Synthesis

JeongSeon Yi*, YangHee Nam*

*Division of Digital Media, Ewha Womans University

요 약

가상현실에서의 사운드는 충돌이나 접촉 등의 인터랙션을 전달함에 있어서 그래픽 영상보다도 효과적인 경우가 많다. 그러나, 기존 연구에서는 발생 가능한 충돌음을 임의적으로 녹음한 후 실시간에서 단순 재생하는 방법으로 재현하고 있는 것이 대부분이다. 그러나, 가상환경은 미리 주어진 시나리오에 의해 플레이되는 것이 아니기 때문에 실시간으로 주어지는 인터랙션에 대해 적합한 충돌음을 실시간에 합성해야 한다. 본 논문에서는 녹음된 음의 단순재생을 피하고 실시간 가상환경의 충돌음 발생 요인을 바탕으로 유사한 물질의 충돌음을 하나의 대표 모델로서 표현하는 방법을 제안한다. 즉, 모든 샘플들을 저장하는 대신 하나의 고유음과 필요한 속성 표현을 제공하는 것이다. 이러한 고유음 표현은 실시간에 속성 요소의 변형에 의해 다양한 상황에 적용적인 음을 생성하게 된다. 이러한 충돌음 표현의 생성과 타당성을 파악하기 위해 충돌음을 발생시키는 물질들에 대한 진동음의 스펙트로그램 분석을 행하였고, 유사 물질별로 하나의 고유음 표현을 생성하여 해당 물질의 실제 충돌음과 비교함으로써 주요 주파수 패턴의 유사함을 확인하였다.

1. 서론

실재감이 중요한 게임 등의 가상현실 응용에서는 가상환경의 실재감을 높여 사용자의 몰입감을 증대시키기 위한 많은 연구가 이루어져 왔다. 컴퓨터 그래픽스 기술의 발달로 시각적 몰입감은 계속 증대되어 왔으나, 청각적 몰입감을 주기 위한 사운드 연구는 90년대 중반에 들어서면서 본격적으로 진행되었다. 특히, 가상 물체 조작(Manipulation) 인터랙션으로 발생하는 사운드의 경우는 가상 객체간의 물리적 접촉으로 발생하는데, 실제 생활에서 발생하는 소리이기 때문에 청취자의 시각과 감정에 큰 효과를 주어 인터랙션이 발생한 상황을 효과적으로 인식하게 도와준다. 이러한 사운드는 충돌사운드와 마찰사운드로 분류가 가능한데, 대부분의 인터랙션이 충돌사운드를 기본으로 하고 있다[3]. 그러나 사운드 효과를 활용하는 대부분의 가상현실 시스템들은 이러

한 충돌사운드를 미리 녹음한 후 실시간 트리거링(Triggering)에 의해 단순 재생 하는 방법으로 재현하고 있다. 이 경우, 실제로 충돌이 일어나는 상황을 모두 예측할 수 없기 때문에 상황을 단순화시키거나 미리 계획해놓게 되므로, 상황이 변하거나 물체의 특징이 달라질 경우 등의 다양한 상황을 사운드에 반영하지 못하고 있다. 또한 녹음된 사운드를 모두 저장하고 있어야 하기 때문에 저장 공간 및 사운드 검색의 시간적 효율 면에서 비효율적이다.

따라서, 사운드 샘플의 수를 줄이면서 가상현실의 다양한 충돌 인터랙션 상황에 맞게 변화된 사운드를 실시간으로 재현할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하며, 본 논문에서는 그러한 상황 적응성과 실시간 합성을 가능하게 하기 위한 가상 충돌음의 표현 방법을 제시한다.

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음

2. 관련연구

기존연구들은 크게 물리적 속성을 기반으로 하는 모델링 방법과 샘플링 기반으로 모델링하는 방법으로 분류된다. <표 1>은 물리 속성을 이용한 모델링 방법과 샘플링 사운드를 이용한 모델링 방법을 크게 3가지 항목(실시간성, 적용대상, 상황적응력)을 중심으로 비교한 결과를 나타낸다.

먼저, 물리적 속성을 기반으로 하는 충돌 사운드 모델링 방법은 충돌 시 발생하는 물체 진동의 모드 해석(Modal Analysis)을 이용한 사운드 모델링을 기본으로 하고 있다. 이때, 충돌 시 진동하는 물체의 표면 기하학적 변형 데이터들을 이용하는지[1][2], 사람이 충돌 상황을 인지 가능하게 하는 물리속성들을 이용하는지[3]에 따라 크게 2가지 방법으로 분류될 수 있다. 이 방법들은 <표 1>에서 나타내듯, 충돌체의 물리 속성을 이용해 사운드를 모델링하기 때문에 충돌 상황에 맞는 비교적 정확한 사운드를 모델링 하지만, 많은 계산시간이 요구된다.

<표 1> 기존연구의 비교분석

대상	물리속성 모델링		샘플링 사운드 모델링	
	강체	특정 물질을 가진 단순한 형태의 물체	반복 패턴을 가진 소리	반복패턴이 화이트 노이즈 형태 (파티클 시스템)
방법	물체 속성 및 변형력, 변형 형태	인지가능 속성 (물질, 형태, 크기, 딱딱함)	반복패턴 추출 및 재구성	진폭, 샘플링주파수, 지속시간 변화
실시간성	낮음	중간	높음	높음
상황 적응력	높음 (부피, 무게, 강성)	중간 (구, 정육면체 형태)	약간 낮음 (충돌 시각)	낮음 (파티클 크기, 개수)

두 번째로, 샘플링 사운드를 이용해 충돌 사운드를 모델링 하는 방법은 녹음된 사운드를 기본 모델로 하고 자체의 반복패턴을 이용해 충돌 사운드를 모델링 하는 방법이다. 이때, 사운드의 반복패턴을 추출해 재구성하여 모델링하는지[4], 화이트 노이즈를 사용해 변형하는지[5]에 따라 크게 2가지 방법으로 분류 가능하다. 이 방법은 <표 1>에서와 같이 샘플링 사운드를 사용해서 모델링하기 때문에 속도가 빠르지만 반복패턴을 가진 사운드나 파티클끼리의 충돌사운드가 아닌 경우는 적용할 수 없다.

이에 대해 본 연구는 위와 같이 제한적인 적용대상의 한계를 없애고 복잡한 가상환경 내의 다양한

충돌 인터랙션 상황을 유연하게 표현하며 실시간으로 계산이 가능하게 하기위해, 오프라인에서 녹음 사운드를 이용하되 실제 표현은 샘플들 대신 충돌 속성에 관계되는 유사 물질별 대표음만을 추출하고 표현함으로써, 이를 실시간에 변형하여 합성할 수 있도록 하는 것이다.

3. 물질 종속적 충돌음 모델링

충돌시 소리를 발생시키는 주요 원인은 충돌하는 물질 특성에 의한 진동이다. 따라서, 본 연구에서는 물질 특성에 따른 충돌음의 패턴을 분석하고, 이로부터 상황적 요인이나 노이즈 요인을 제거한 물질별 대표음을 추출하고자 하였다.

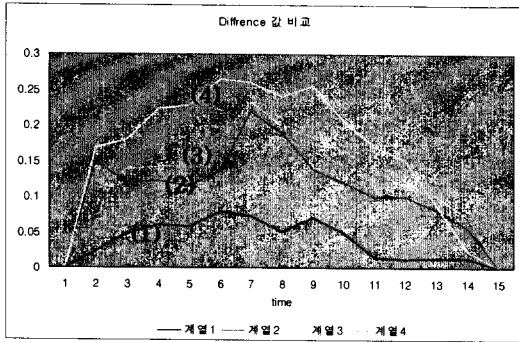
이를 위해 유사물질별 대표음 표현 방법을 수립한 후, 이를 바탕으로 한 가상 충돌음을 재구성하여 실제세계에서 녹음된 충돌음들 간의 비교 실험을 함으로써 수립된 모델의 타당성을 검증하였다. 충돌 사운드들에 대해 물질 특성 차이에 기반한 군집화 분석과 추출된 고유사운드를 이용해 재구성된 사운드와 실제 충돌사운드 간의 비교 실험을 행하였다. 이러한 실험은 추출된 고유사운드가 실제 충돌음의 특성과 유사함을 분석 결과를 통해 알게 해준다.

3.1 물질별 대표음 구축을 위한 유사물질 군집화

각각의 모든 상황과 물질들에 대해 해당 샘플들을 녹음하는 대신, 상황이 달라지더라도 물질별 고유진동 특성에 기반한 스펙트럼의 유사성이 있음에 착안하여 물질별 대표음을 모델링하고자 하였다.

이 때, 물질이 다르더라도 실제로 스펙트럼 구조의 유사성이 높을 수 있으므로 사람이 임의적으로 물질을 분류하지 않고 주어진 샘플 데이터에 기반하여 자동 군집화 하도록 하였다. 따라서 엄밀하게는 물질별로 대표음 표현을 구축하는 것이 아니라 스펙트럼 유사도에 의한 유사물질 군집별로 대표음을 표현하는 것이다. 예컨대, (그림 1)은 플라스틱과 유리의 충돌사운드에 대해 스펙트로그램 특징들[6]의 거리값 차를 비교한 표이다. (그림 1)에서 (1),(2)는 서로 다른 특징을 가지는 플라스틱 물질, (3),(4)는 서로 다른 특징을 가지는 유리 물질의 차 값을 보여주고 있다. 즉, 같은 플라스틱 재질임에도 불구하고 (1)과 (2)의 값들은 많은 차이를 보이며, (2)는 오히려 유리 재질의 (3)과 더 비슷한 값을 보이는 것을 알 수 있다.

분리된 군집들의 실제 물질을 살펴보면, 플라스틱



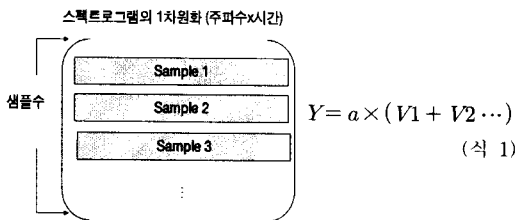
(그림 1) 플라스틱 샘플들과 유리 샘플들의 거리값 비교

에서는 폴리제열과 아크릴계열의 플라스틱으로 분리되었고, 유리에서는 자동차의 강화유리와 같은 종류와 일반 유리 종류로 분리 되었다. 그런데 여기서 아크릴계열의 플라스틱과 강화유리 계열의 특징이 비슷하기 때문에 하나의 군집으로 된 것을 볼 수 있었다.

이러한 특징들을 이용해 본 논문에서는 각 물질 특성의 차이를 기준으로 군집화[7]를 했고, 이에 따라 유리, 철, 고무는 각 2종의 군집으로, 철, 플라스틱류, 나무, 알루미늄은 각 5종, 1종, 3종, 2종의 부류로 나뉘었다.

3.2 주성분 기반 군집별 충돌음 표현

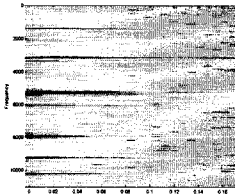
자동 군집화된 유사물질의 충돌음들은 스펙트로그램상에서 비슷한 특징을 지니게 되므로, 이들이 가지고 있는 패턴의 기저를 형성하는 중요한 성분들을 추출하여 표현하기 위해 주성분 분석 방법을 적용하였다. 즉, 주성분 분석법[9][10]을 통해, 군집화된 샘플들로부터 주파수와 시간축의 2차원으로 되어있는 각 샘플의 스펙트로그램을 (그림 2)처럼 1차원화시켜 주성분 분석 가능한 데이터를 만들고, 이에 대해 주성분 분석을 행한다[8].



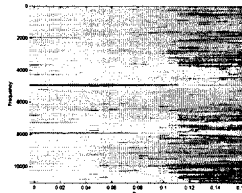
(그림 2) 사운드 샘플들의 주성분 분석을 위한 자료 X화

제1성분은 충돌 사운드에서 가장 큰 의미를 가지

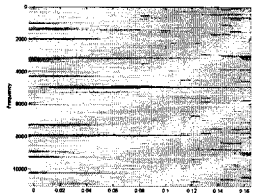
는 주파수 성분들이고, 차례로 중요한 의미를 가지는 주파수 성분이다. 따라서, (식 1)은 물질 군집을 대표하는 고유 사운드의 스펙트로그램(Y)를 구하는 식으로, Kaiser의 원칙에 의해 고유값이 1이상인 것들을 주성분 고유벡터(V)로 선택하여 합하고, 여기에 일정한 크기값(a)를 곱해 구한다. 본 연구에서 실험한 결과 실제로는 제1주성분에 많은 비중이 있어 실제로는 제1주성분으로 추출된 고유벡터로 이루어진 스펙트로그램을 주로 사용하게 된다. 이 방법은 모델링 하고자 하는 물질들에 대해 각각 실행한다.



(a) 사기물질인 한 샘플 사운드의 스펙트로그램



(b) 제1주성분



(c) 제2주성분

(그림 3) 사기물질 군집의 주성분 분석

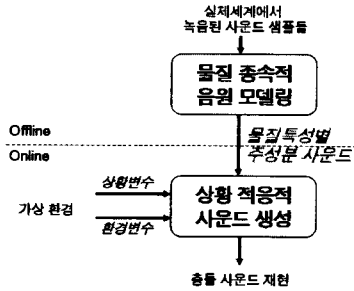
(그림 3)은 사기물질인 한 샘플 사운드의 스펙트로그램의 제1주성분과 제2주성분의 스펙트로그램을 보여준다. 제1성분에 가장 높은 크기값을 가진 주파수 대역이 추출된 것을 볼 수 있다.

이렇게 모델링된 고유사운드는 실시간에 들어오는 변수들의 비교를 통한 고유사운드 변형을 통해 충돌 사운드를 재현하기 때문에, 추출된 고유사운드 스펙트로그램과 군집 샘플 녹음시의 기준변수(무게, 길이, 단면적, 감쇠시간)를 각 군집 당 저장한다.

4. 가상 충돌음 재현 시스템 구현

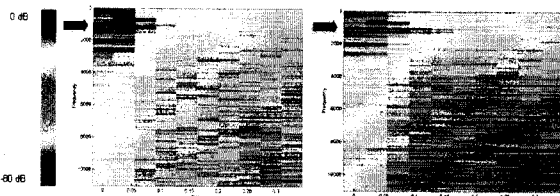
본 논문에서 제안한 주성분 기반의 물질군별 대표 음 표현에 기반하여 (그림 4)와 같이 실시간에 가상 충돌음이 재현된다. 즉, 3장에서 모델링한 물질특성별 고유사운드들은, 실시간에 발생하는 충돌 인터랙션 상황에서 대상 물체들의 무게, 부피 등 상황 속성들이 군집의 기준 속성과 어떻게 차이가 나는가에 따라 실시간으로 변형됨으로써 상황에 의해 변화된

가상 사운드를 생성하게 된다[3][8].



(그림 4) 실시간 충돌 사운드 재현 흐름도

(그림 5)의 (a)는 실험에 사용된 80g의 나무 충돌 사운드 샘플이고, (b)는 3장에서 제안한 방법에 의해 모델링된 나무물질의 고유사운드이며, (c)는 무게가 고유사운드보다 2배 이상 나가는 나무판자의 충돌사운드이다. 이 스펙트로그램에서 가장 붉은색을 띄는 곳이 가장 큰 데시벨 값을 가지는 부분으로 충돌 사운드의 고유한 영역을 의미한다. (그림 5)의 (b)를 보면, 가장 붉은 영역이 (a)에서 추출되어 생성된 고유사운드가 원래의 샘플들에서 주성분만을 추출해 낸 것을 알 수 있다. 또한 고유사운드 (b)는 (그림 4)에서 설명한 실시간 충돌 사운드 재현방법을 이용해, 원래 고유사운드 생성시의 무게보다 2배 이상 무거운 나무판자 충돌 사운드를 실시간으로 생성하게 된다[8][11][12]. 이 때, 무게 비례에 의해 추출된 붉은 영역을 저대역으로 이동시킴으로서 재현 가능하다.



(a) 80g 나무 충돌사운드 샘플 (b) 80g 나무물질 고유사운드



(c) 약 160g 나무판자의 충돌사운드

(그림 5) 나무물질의 고유사운드 모델링 실험 결과

이러한 실험을 통해 우리는 같은 물질이라면 주요 특성이 일치함을 확인할 수 있으며, 이를 이용해 같은 물질이지만 물체의 특성이 다른 충돌사운드를 실시간으로 재현 가능함을 알 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 기존의 샘플 녹음 방법이나 물리 계산법에 근거한 방법들이 실시간 충돌 상황에 대한 적응과 변형이 어렵거나 계산량이 많다는 단점을 개선하고자, 물질 종속적 음원 모델링을 기반으로 한 충돌음의 모델을 제시하였다. 제안된 모델은 유사 물질 내에서도 특징이 다른 물질을 자동 군집화 해서 고유사운드가 유사한 것끼리 하나의 대표음으로 표현되게 하였으며 실시간에는 고유사운드의 변형을 통해 상황에 맞는 충돌음을 재현하는 데 사용하여 빠른 계산과 상황에 대한 적응성을 증가하였다.

참고문헌

- [1] K. van den Doel et al., "Foley Automatic: Physically-based Sound Effects for Interactive Simulation and Animation", SIGGRAPH, 2001
- [2] J. O'Brien et al., "Synthesizing Sounds from Rigid-Body Simulations", SIGGRAPH Symposium on Computer Animation, 2002
- [3] Multi-labs, "the Sounding Object", EU-Project, "www.soundobject.org", 2001~2003
- [4] D. Keller, "Touch'n'Go: Ecological Models in Composition", Master of Fine Arts Thesis, Simon Fraser University, 1999
- [5] P. Cook, "Real Sound Synthesis for Interactive Applications", A K Peters, 2002
- [6] 윤원중 외 2명, "내용기반 오디오 장르 분류를 위한 신호 처리 연구", 전자공학회논문지, 41권 SP 6호, 2004
- [7] 오정석, 이상호, "데이터베이스 워크로드 식별을 위한 수정된 퍼지 k-NN 알고리즘", 정보과학회 가을 학술논문 발표논문집(II) 32권 2호 pp.270-172, 2005
- [8] 이정선, "구성분 기반 음원 모델링을 통한 실시간 충돌 사운드 재현 연구, 이화여대 석사학위논문, 2006
- [9] 김우성, "비교사 학습을 이용한 얼굴 인식 모델의 실험 및 분석", KAIST 석사학위논문, 2002
- [10] B. Recht and B. Whitman, "Musically Expressive Sound Textures from Generalized Audio." In Proceedings of the Digital Audio Effects Conference. Queen Mary, University of London, U.K., 2003
- [11] 정일록 외 3명, "최신 소음 진동 이론과 실무", 신광문화사, 2002
- [12] 이채봉, 차경환, "음향공학개론", 형설출판사, 1999