

모션 조작 요소 기반의 볼륨 변형 애니메이션 저작 및 생성 기법

김장훈⁰¹ 유도영² 이성길¹

¹성균관대학교 소프트웨어학과

²성균관대학교 신소재공학부

hunhok@g.skku.edu, dbehdudeks@g.skku.edu, sungkil@skku.edu

Morphable Volume Animation Authoring and Generation Based on Motion Control Primitives

Janghun Kim⁰¹ Doyoung Yu² Sungkil Lee¹

¹Dept. of Computer Science and Engineering, Sungkyunkwan University

²Dept. of Advanced Materials Science & Engineering, Sungkyunkwan University

요 약

볼륨의 직접 변형 기법과 달리 조작점 기반의 간접 변형 기법은 최소한의 사용자 조작 기반으로 볼륨 전체에 적용되는 역동적인 효과를 생성할 수 있다. 본 논문은 모션 조작 요소기반으로 볼륨을 변형하는 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 조작점 기반으로 저수준의 모션 조작 요소를 정의하고, 고수준에서 그 요소들을 시공간적으로 조합하여 볼륨 변형을 시도한다. 고수준의 모션 조합은 사용자의 의도와 일치하게 수동으로 조합할 수 있고, 또한 랜덤 조합을 통해 새롭게 변형된 애니메이션을 생성할 수도 있다. 수동 조합은 형체가 존재하는 사물이나 생물의 직관적 변형에 적합하고, 랜덤 조합은 불규칙한 형태의 객체에서 새로운 애니메이션을 생성하는데 적합하다.

1. 서론 및 관련 연구

볼륨은 2D 래스터 그래픽스를 3D로 확장한 데이터로, 컴퓨터 단층촬영(CT; Computed Tomography)나 자기 공명 영상(MRI; Magnetic Resonance Imaging)에서 많이 쓰인다. 볼륨 데이터는 속이 차 있는 형태이기에, 일반적인 컴퓨터 그래픽스와 다르게 접근된다. 특히, 볼륨 데이터의 외형과 특징을 변형하고자 하는 경우, 속이 비어 있는 일반적인 메시(Mesh)와 달리 Voxel (Volume Element)에 모두 접근해서 변경해야 한다. 볼륨의 변형 기법은 Voxel 혹은 근접한 영역에 접근하여 직접 변형하는 기법과, 중간 객체(proxy)를 이용하는 간접 변형 기법이 연구되어 왔다[1].

직접 변형 기법은 세부적이고 정확도 높은 애니메이션을 생성 가능하나, Voxel 혹은 근접 영역 단위로 접근하므로 변형에 시간이 많이 들고, 동적인 효과를 얻기가 어렵다[2]. 간접 변형 기법은 쉬운 제어를 통해 애니메이션을 생성 가능하고, 사용자 조작 기반으로 볼륨 전체에 대하여 역동적인 효과를 줄 수

있다. 본 논문에서는 간접 볼륨 변형 기법을 이용한다.

임의의 생성적인(generative) 볼륨 변형을 위해 본 논문은 조작점의 모션 요소 기반으로 볼륨을 변형하는 기법을 제안한다. 이를 통해 조작 요소의 조합을 다양하게 적용하여 사용자의 의도와 맞거나 예측하기 어려운 임의의 애니메이션을 생성할 수 있다.

제안하는 기법은 조작점 기반으로 저수준의 모션 조작 요소를 정의하고, 고수준에서 그 요소들을 시공간적으로 조합하여 볼륨 변형을 시도한다. 고수준의 모션 조합은 임의로 정의된 볼륨의 관절 부분에 대하여 시공간적으로 조합한 조작 요소를 적용하여 사용자의 의도와 유사한 효과를 만드는 기법과, 프레임마다 조작 요소를 랜덤하게 조합하여 완전 자동화 및 생성적인 볼륨 변형 기법을 제안한다.

2. 배경

본 논문에서는 2D MLS(Moving Least Squares)[3] 변형 기법의 확장인 3D MLS 기법[4,5]을 사용할 것이다. 임의로 정의된 볼륨의 관절 부분에 조작점들의 집합 $\{c\}$ 와 조작점들의 모션의 집합을 $\{m\}$ 이라 주어지면 임의의 점 v 의 MLS 보간 f_m 은 다음과 같이 정의한다(1).

* 이 논문은 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 중견연구자 지원사업의 지원으로 수행된 연구임 (2019R1A2C2002449)

$$f_m(v) = \prod_j A_j(m_j - m^*) + m^*, \quad (1)$$

여기서 A_j 는 단일 스칼라이며 다음과 같이 정의한다(2).

$$A_j = (v - c^*) \left(\sum_i \hat{c}_i^T w_i \hat{c}_i \right)^{-1} w_j \hat{c}_j^T \quad (2)$$

여기서 c^* 와 m^* 은 가중치 w 가 적용된 중심이며 다음이 유도된다.

$$\hat{c}_i = c_i - c^*$$

$f_m(v)$ 의 타입은 m 의 타입에 의해 결정되는데 우리는 3D 공간이므로 볼륨 밀도의 $m(v)$ 는 변경된 볼륨 밀도를 산출한다. 마찬가지로, 공간적 위치인 m 은 변형된 위치를 찾아낸다.

3. 모션 조작 요소 기반 볼륨 변형 기법

볼륨 변형 기법에 필요한 모션 조작 요소를 정의하고 두 가지 볼륨 변형 기법을 제시한다. 기법들은 조작 요소를 시공간적으로 조합하여 사용자의 의도와 유사한 볼륨 변형 애니메이션을 생성한다. 또한, 랜덤하게 조작 요소를 조합해 완전 자동화 및 생성적인 볼륨 변형 기법을 제안한다.

3.1. 조작 요소 정의

본 정의에서는 볼륨의 변형에 필요한 3가지 조작 요소를 소개한다. (그림 1 참고)

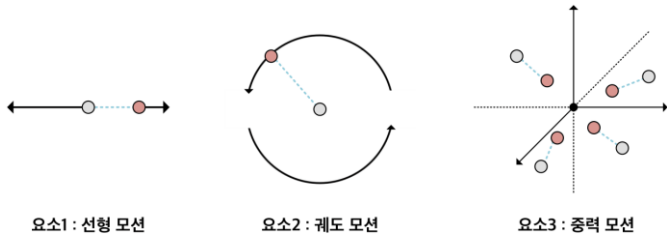


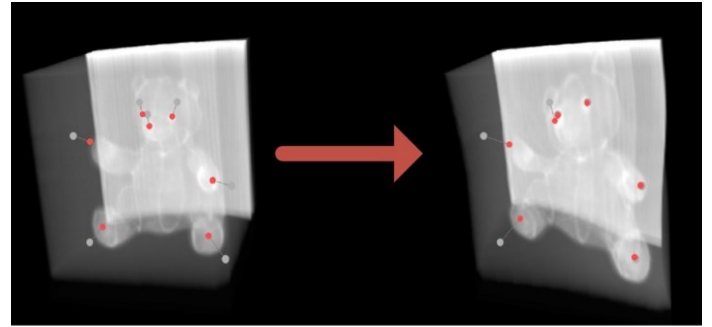
그림 1. 3차원 공간 내 모션 조작 요소 정의

첫 번째 조작 요소는 선형 모션을 정의한다. 3차원 공간 내 3차원 축에 대하여 선형 움직임을 나타내는 동작이다. 두 번째 조작 요소는 궤도 모션을 정의한다. 조작점들을 기준으로 모션이 궤도 움직임을 하는 동작이다. 세 번째 조작 요소는 중력 모션을 정의한다. 볼륨의 중심을 기준으로 모든 조작점들이 응축됐다가 다시 분산되는 동작이다.

3.2 조작 요소 조합형 볼륨 변형 기법

본 기법은 위에서 정의된 조작 요소를 바탕으로 각 조작점들에 대하여 사용자의 의도와 유사하게 조작 요소를 시공간적으로 조합하여 그림 2와 같이 변형된 볼륨 애니메이션을 생성한다. 이때, 자연스러운

애니메이션을 위해 조작 요소는 삼각함수와 연산을 이용하여 움직임의 변화가 자연스럽게 이어지는 효과를 준다. 또한 조작 요소들을 조합할 때 조작 요소가 어느 축에 대해서 수행되는지, 조작 요소 간 연산의 종류 그리고 모션 조작 요소의 주기를 조정하여 임의의 모션을 생성할 수 있다. 그림 1과 같이 세 가지 모션을 정의하였지만 조작 요소들끼리 연산하여 조합하면 수많은 동작이 생성된다는 점에서 본 기법은 생성적인 기법이라 할 수 있다. 연산의 예시로는 그림 1의 요소 1과 요소 2를 곱셈 연산하고 주기를 조정하면 마치 모션이 원뿔을 표면을 도는 듯한 효과를 줄 수 있다.



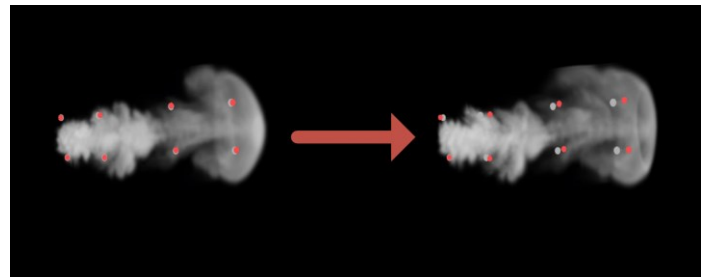
Frame 35

Frame 80

그림 2. 조작 요소 조합형 볼륨 변형 기법 적용

3.3 조작 요소 랜덤형 볼륨 변형 기법

본 기법은 조작 요소 조합형 볼륨 변형 기법과 달리 사용자가 수동으로 조작 요소를 조합하는 것이 아닌 조작 요소를 계속 랜덤하게 계산하여 그림 3과 같이 볼륨 변형 애니메이션을 자동 생성한다. 매 프레임 단위로 랜덤하게 조작 요소를 생성하지만, 그 변위는 지난 프레임에서 조금씩 변경되게 하여 이산적으로 끊기지 않고 연속적이고 자연스러운 애니메이션을 생성할 수 있다.



Frame 51

Frame 216

그림 3. 조작 요소 랜덤형 볼륨 변형 기법 적용

4. 결 과

본 논문의 결과는 그림 4와 같이 사용자의 의도와 일치하게 애니메이션을 생성할 수 있었다. 그림 4의

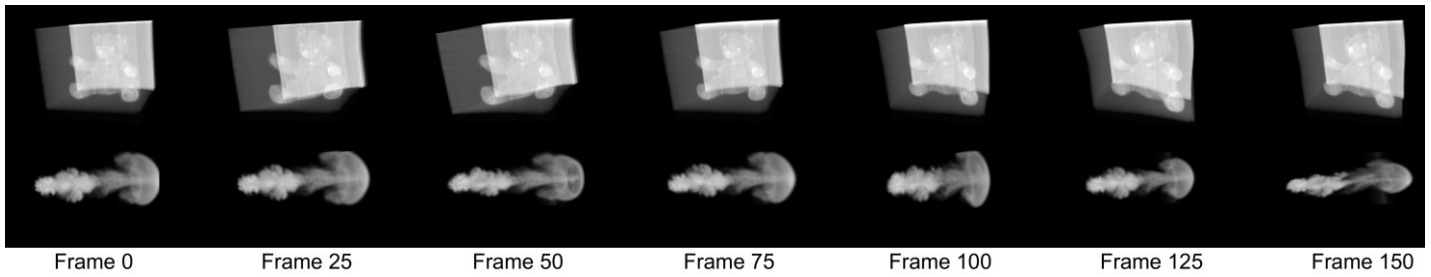


그림 4. 조작 요소 조합형 볼륨 변형 기법 적용 애니메이션 프레임 단위 변화

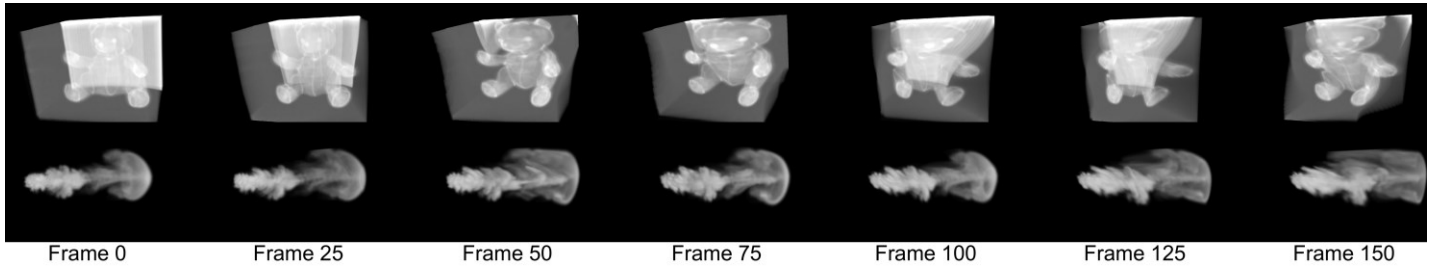


그림 5. 조작 요소 랜덤형 볼륨 변형 기법 적용 애니메이션 프레임 단위 변화

상단, 곰 인형 모델의 경우 팔, 다리, 눈 그리고 코 조작점에 대해서 그림 1의 요소 3(중력 모션)을 설정하고 그림 2와 같은 볼륨 변형을 주어 마치 춤을 추는 것과 같은 애니메이션을 생성하였다. 또한 그림 5와 같이 불규칙한 새로운 애니메이션을 생성할 수 있다. 그림 5의 하단, 연기 모델의 경우 내부의 조작점 8개에 대해서 랜덤으로 모션 조작 요소를 조합하여 그림 3과 같이 마치 천천히 연기가 퍼지는 듯한 애니메이션을 생성하였다. 본 결과의 동영상 시연은 다음 URL에서 확인할 수 있다(<http://cg.skku.edu/pub/korean/papers/2021-kim-ksc-cvox.mp4>).

본 기법은 Intel(R) Core(TM) i9-10900 2.8GHz, GeForce RTX 3090에서 OpenGL을 사용하여 구현되었고, 해상도는 1920x1080 (FHD)를 사용하였다. 표 1은 맵프레임 변형을 적용하는 경우의 렌더링 성능을 나타내며, 이를 통해 본 기법이 실시간 적용에 충분함을 알 수 있다.

모델	연산 시간	수동 볼륨 변형 기법	랜덤 조합 볼륨 기법
곰인형	전체	2.712ms	2.738ms
	볼륨 변형 연산	0.421ms	0.430ms
연기	전체	2.275ms	2.306ms
	볼륨 변형 연산	0.292ms	0.295ms

5. 결론 및 향후 연구

본 논문은 조작 요소 조합형 볼륨 변형 기법의 경우

볼륨 모델이 형태가 존재하는 사물이나 생물의 직관적 변형에 적합하고 조작 요소 랜덤형 볼륨 변형 기법(은 불규칙한 형태의 객체에서 새로운 애니메이션을 생성하는데 적합하다.

현재는 모션 조작 요소는 사용자가 정의하고 조작점을 미리 설정해야 하는 한계점이 있다.

향후 연구에서는 기존 애니메이션 또는 실제 영상의 생물과 사물의 뼈대와 모션 정보를 이용하여 다른 볼륨 모델에 적용시켜 볼륨 애니메이션을 자동적으로 생성할 수 있는 기법의 연구를 진행할 예정이다.

6. 참고 문헌

- [1] Soonhyeon Kwon., Younguk Kim., Kihyuk Kim., Sungkil Lee.: Heterogeneous Volume Deformation and Animation Authoring with Density-Aware Moving Least Squares. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 29(1), e1784:1-14, 2018.
- [2] Chandru V., Mahesh N., Manivannan M., Manohar S.: Volume sculpting and keyframe animation system. In *Proc. Computer Animation*, pp. 134-139, 2000.
- [3] Correa C. D., Silver D., Chen M.: Volume deformation via scattered data interpolation. In *Proc. Volume Graphics*, pp. 91-98, 2007.
- [4] Schaefer S., McPhail T., Warren J.: Image deformation using moving least squares. In *ACM Trans. Graphics*, vol. 25, ACM, pp. 533-540, 2016.
- [5] Kihyuk Kim., Sungkil Lee.: Interactive Free-Form Volume Editing. *Eurovis Posters*, 2015.