

가상환경에서 물감의 물리적 특성을 효율적으로 표현하는 입자 기반 프레임워크

유형준^o, 김종현^{*}

^o강남대학교 소프트웨어응용학부,

^{*}강남대학교 소프트웨어응용학부

e-mail: jonghyunkim@kangnam.ac.kr

Particle-Based Framework for Efficiently Representation of the Physical Properties of Paint in Virtual Environment

HyeongJun Yoo^o, Jong-Hyun Kim^{*}

^oSchool of Software Application, Kangnam University,

^{*}School of Software Application, Kangnam University

● 요약 ●

본 논문에서는 물감의 유체성, 확산성, 흡착성, 흡수성 및 응고성과 같은 물감의 물리적 특성을 활용하여 사실적인 페인트 시뮬레이션할 수 있는 입자 기반 프레임워크를 제안한다. 현실에서는 물감이 흐르고, 확산하는 것뿐만 아니라 흡착하거나 시간에 지남에 따라 응고되는 현상을 쉽게 관찰할 수 있다. 본 논문에서는 이런 현상을 사실적으로 표현하기 위하여 SPH(Smoothed-particle hydrodynamics) 방식을 시뮬레이션 하였고 Isotropic kernel이 아닌 Anisotropic kernel을 사용하여 확산 과정을 표현하는 방식을 소개한다. 우리의 방법은 Fick's law를 바탕으로 물질 전달 방식을 이용한 확산 과정을 표현하였으며, 시간이 지남에 따라 굳어가는 응고성, 그리고 Van der waals 힘을 기반으로 한 흡착 과정을 동시에 표현하여 사실적인 페인트를 구현하였다.

키워드: 물질전달 (Mass transfer), 확산(Diffusion), 유체 시뮬레이션(Fluid simulation), 흡착(Adsorption), 응고성(Coagulation)

I. Introduction

물감은 우리에게 매우 친숙한 액체이며, 물감의 특성에 따라 그림의 형태도 매우 달라진다. 그림판과 같은 물감 관련 프로그램은 전부터 존재해왔지만, 이들 대부분은 2D 환경으로 구현되어있으며, 3D 환경에서 구현된 프로그램이라도 페인트의 특성들을 사실적으로 고려하지 않았다. 사용자에게 사실적인 페인트 특성을 표현하기 위해서는 현실과 같은 물감의 물리적 특성들을 고려하여 구현해야 한다. 이를 효율적으로 나타내기 위하여 본 논문에서는 입자 기반을 바탕으로 물감의 물리 기반 시뮬레이션 방법을 제안하고자 한다. 본 논문에서는 기존에 제안되었던 유체성, 확산성 및 흡수성에 기반 한 사실적인 페인트 시뮬레이션을 활용한다. 기존 논문에서 고려하지 않았던 물감의 흡착 및 응고성을 물리 기반으로 구현하였으며, 확산 과정에서 방향성을 추가하여 현실성을 보완한 물리 기반 물감 시뮬레이션을 제안한다.

II. Preliminaries

1. Related works

물감의 물리적 특성으로는 유체성, 확산성, 흡착성, 흡수성 및 응고성이 존재하며, 대표적으로 유체의 특성을 표현하는 방법으로는 라그랑주 방법과 오일러 방법이 있다. 라그랑주 방법은 입자 하나에 초점을 주어 입자의 물리량을 나타내는 방법이며 오일러 방법은 공간을 고정된 격자로 나누어 격자 지점의 물리량을 표현하는 방법이다.

III. The Proposed Scheme

1. Fluidity

물감의 유체적 특성을 표현하기 위하여 본 논문에서는 기존 논문에서 사용하던 Navier-Stokes 식에 흡착성 힘을 추가하였으며 식은 아래와 같다.

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = f_{pressure} + f_{viscosity} + f_{elasticity} + f_{adsorb} + \rho g + f_{surface} \quad (1)$$

Pressure force와 surface tension force는 Muller의 논문을 바탕으로 계산되고[1], viscosity force는 응고성을 구할 때 계산됨으로 후에 설명할 예정이다.

2. Diffusion

확산은 정지된 액체에서도 농도만 다르면 발생하는 Mass transfer이다. 기존 논문에서는 Fick's second Law를 SPH 식으로 변형하여 다음과 같이 나타내었다.

$$D \nabla^2 c(\mathbf{r}_i) = D \sum_j m_j \frac{c_j - c_i}{\rho_i \rho_j} \nabla^2 W \quad (2)$$

본 논문에서는 방향성이 없는 등방성 W커널을 Yu와 Turk이 제안하는 이등방성 커널로 보완 적용해주었다[2]. 등방성 커널은 반지름인 h 범위 안에 있는 파티클들을 대상으로 하기 때문에 방향성이 없고 원형인 형태를 이루지만 이등방성 커널은 Covariance matrix를 계산하여 고유값과 고유벡터를 구하고, Anisotropy Matrix를 커널의 h값 대신 넣어주기 때문에 방향성을 가진다.

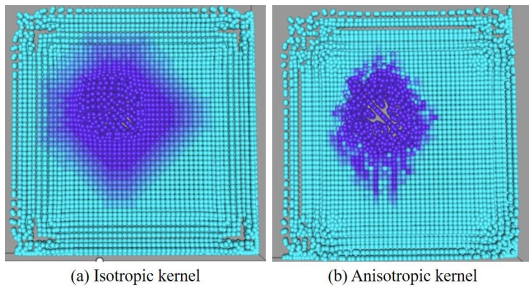


Fig. 1. Comparison of diffusion of paint using various kernels.

위에 결과를 살펴보면 왼쪽은 등방성 커널을 사용한 기존 확산 결과이고 오른쪽은 이등방성 커널을 사용한 확산 결과이다 (Fig. 1 참조). 물의 방향이 위에서 아래로 흐르고 있을 때 등방성 커널은 방향을 고려하지 않기 때문에 사방으로 확산하는 반면, 이등방성 커널은 방향을 고려하여 위와 아래로 길쭉하게 퍼진 모습을 확인할 수 있다.

3. Adsorption

흡착성은 기존 논문에서는 고려하지 않았던 물감의 특성 중 하나이다. 본 논문은 물리적 흡착력인 반데르발스 힘을 구현하기 위하여 다음과 같은 식을 사용하여 흡착성을 구현하였다.

$$\mathbf{f}_i^{adsorb} = -k d_i \left(1 - \frac{d_i}{d_{adsorb}} \right) \hat{\mathbf{n}}, \quad (3)$$

여기서 d_i 는 파티클 i 와 표면의 거리를 나타내며 n 은 표면의 노말을 나타낸다. 끌어당기는 힘은 d_i 의 거리가 d_{adsorb} 계수보다 낮으면 발생한다. 또한, 물감 파티클이 표면과 흡착하게되면 흡착 파티클을 생성하게 하였으며 흡착파티클을 생성할수록 크기가 점점 작아지다가 소멸하도록 렌더링을 구현하였다.

4. Absorption

물감과 종이 만나게 되면 흡수가 일어난다. 흡수력은 종이의 재질에 따라서 다르게 되는데 본 논문에서는 기존 논문에서 사용한 Lucas-Washburn 공식을 사용하여 흡수 작용을 구현하였다. 다음 식에서 l 은 모세관의 길이를 나타내며 r_c 은 모세관의 반지름, P_h 는 유체압력을, P_c 는 모세관 압력을, μ 는 점성을 나타낸다 (Fig. 2 참조).

$$\frac{dl}{dt} = \frac{P_h + P_c}{8\mu l} (r_c^2 + 4r_c) \quad (4)$$

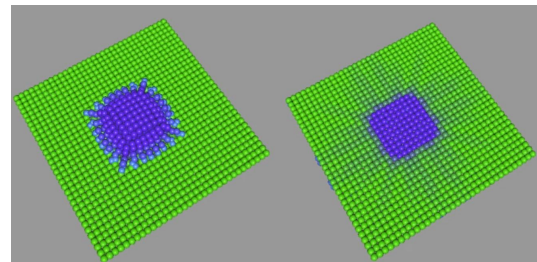


Fig. 2. Paint absorption.

5. Coagulation

물감이 공기와 닿을수록 점점 굳어가기 시작하는데 이런 현상을 응고 현상이라고 한다. 공기와 닿는 면적이 클수록 더욱 빠르게 굳어가기 시작하는 본 논문에서는 이러한 현상을 구현하기 위하여 표면 장력 활용하였다. 공기와 닿는 면적이 클수록 표면 장력을 크게 갖고 있으므로 물감이 공기와 닿아 응고될수록 표면 장력에 비례하여 점성력을 점차 높여주었다. 또한, 시각화를 하기 위하여 점성력에 따라서 파티클을 어둡게 표현하여 응고되는 현상을 표현해주었다 (Fig. 3 참조).

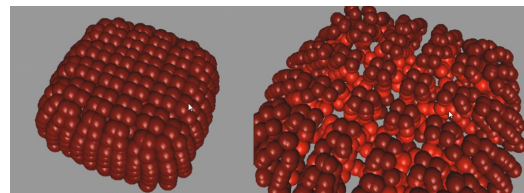


Fig. 3. Paint coagulation.

IV. Conclusions

본 논문에서는 물감의 유체성 확산성, 흡착성, 흡수성 및 응고성을 동시에 표현하여 더욱 사실적인 물감이 물리 기반 시뮬레이션을 제한하였다 (Fig. 4 참조). 또한, 기존 논문에서 방향성이 없는 확산 과정에 방향성을 추가하여 좀 더 자연스러운 물감 시뮬레이션을 표현했으며, 향후 다양한 브러쉬 형태와 상호작용하여 디테일한 물감의 재질을 표현할 수 있는 연구로 확장할 계획이다.

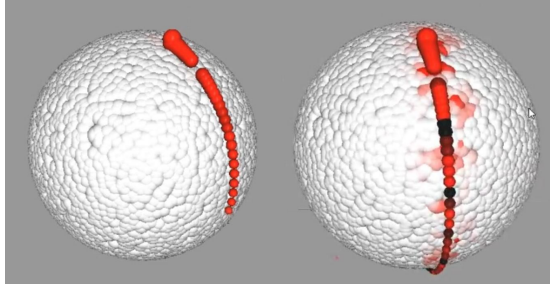


Fig. 4. Our results.

REFERENCES

- [1] Müller, Matthias, David Charypar, and Markus Gross. "Particle-based fluid simulation for interactive applications." In Proceedings of the 2003 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, pp. 154-159. 2003.
- [2] Yu, Jihun, and Greg Turk. "Reconstructing surfaces of particle-based fluids using anisotropic kernels." ACM Transactions on Graphics (TOG) 32, no. 1 (2013): 1-12.