

젖은 헤어 시뮬레이션에서 유체의 곡선 운동을 표현하기 위한 하이브리드 프레임워크

김종현^o

강남대학교 소프트웨어응용학부^o

e-mail: jonghyunkim@kangnam.ac.kr^o

Hybrid Framework for Representing the Curved Motion of Liquid in Wet Hair Simulation

Jong-Hyun Kim^o

Dept. of Software Application, Kangnam University^o

● 요약 ●

본 논문에서는 젖은 헤어와 액체가 상호작용할 때 표현되는 디테일한 액체의 곡선 운동을 표현할 수 있는 새로운 프레임워크를 제안한다. 젖은 헤어에서는 모발끼리 뭉치는 접착력 뿐만 아니라, 액체의 움직임도 마른 헤어에 비해 독특한 움직임을 갖는다. 하지만, 대부분의 기법들이 모발의 접착력만을 고려했으면, 젖은 헤어에서 분사될 때 표현되는 액체의 곡선 움직임까지는 표현하지 못했다. 본 논문에서는 유체의 곡선 운동에 대한 새로운 하이브리드 프레임워크를 제안하며, 이전 기법들에서 헤어와 유체가 상호작용할 때 표현하지 못했던 액체의 곡선 운동을 효율적으로 표현해냈다.

키워드: 곡선 운동(Curved motion), 액체 시뮬레이션(Liquid simulation), 젖은 헤어(Wet hair)

I. Introduction

헤어 시뮬레이션은 사람의 헤어나 동물 털, 옷의 재질 등을 표현함에 있어서 중요한 시각적인 특징을 표현할 수 있기 때문에 애니메이션이나 가상/증강현실 분야에서 꾸준히 사용되고 연구되어 왔다. 헤어와 유체 시뮬레이션을 상호작용하기 위한 연구는 이제 초기단계이며, 최근에는 이 분야를 연구하고자 몇 가지 기법들이 제안되었지만, 대부분 접착력과 같이 젖은 헤어에서 발생하는 모발의 디테일한 특징만을 표현하려고 했다[1].

이러한 표현적 한계를 개선시키고자 본 연구에서는 젖은 헤어에 의해 곡선 형태로 분사되는 액체의 디테일한 움직임을 효율적으로 표현할 수 있는 새로운 프레임워크를 제안한다. 본 논문에서는 액체 시뮬레이션을 계산하기 위해 FLIP(Fluid-implicit particle) 해법을 이용했으며[2], 헤어는 DFTL(Dynamic follow-the-leader) 해법을 이용하였다[3]. 이 두 가지 해법을 기반으로 디테일한 유체의 움직임을 계산하기 위한 본 연구의 기여도는 아래와 같다 :

- 헤어와 액체 시뮬레이션의 상호작용 모듈
- 젖은 헤어로부터 분사된 액체의 곡선 운동 표현
- 안정적으로 헤어의 운동을 유체의 전달하기 위한 격자 프로젝션 기법

II. The Proposed Scheme

본 논문에서는 빠른 헤어 시뮬레이션을 구현하기 위해 PBD(Position-based dynamics)를 이용하여 기본적인 모발의 움직임을 표현했다[4]. 헤어 입자의 위치 x 와 속도 v 가 주어지면, 이 알고리즘은 아래와 같은 순서에 따라 다음 스텝의 입자의 속도와 위치를 계산한다 (Equations 1~4 참조).

$$p \leftarrow x + \Delta t v + \Delta t^2 f \quad (1)$$

$$p \leftarrow \text{SolveConstraint}(p) \quad (2)$$

$$v \leftarrow \frac{p - x}{\Delta t} \quad (3)$$

$$x \leftarrow p \quad (4)$$

여기서 Δt 는 타임스텝이며, f 는 외력이다. 모발의 초기 길이를 유지 시켜주기 위한 제약조건인 $\text{SolveConstraint}(p)$ 함수는 PBD 기반의 DFTL 프로젝션 알고리즘을 이용하였다[3].

젖은 헤어에서 표현되는 모발의 응집력을 모델링하기 위해 SPH(Smoothed particle hydrodynamics)에서 사용되는 커널 기반의 외력을 추가하여 사용하였으며 자세한 수식을 아래와 같다 (Equation 5 참조).

$$F_{i \leftarrow j}^* = F_{i \leftarrow j}^{surface} + F_{i \leftarrow j}^{adhesion} \quad (5)$$

여기서 $F_{i \leftarrow j}^{surface}$ 와 $F_{i \leftarrow j}^{adhesion}$ 는 각각 젖은 헤어의 응집력과 표면적 최소화를 위한 힘이며 좀 더 자세한 설명은 Kim 등의 논문을 참조하길 바란다[4].

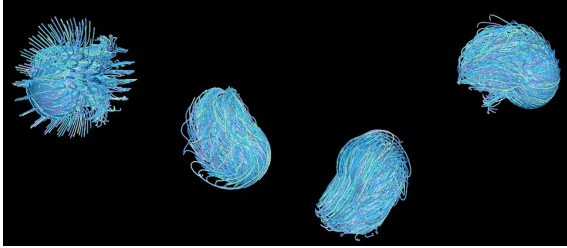


Fig. 1. Wet hair simulations using Equation 5

Figure 1은 회전하는 구에서 젖은 헤어의 움직임을 관찰한 결과이며, 구가 빠르게 회전하는 상황에서도 불구하고 젖은 헤어의 특징인 응집력을 잘 표현했다. 우리는 젖은 헤어에서 분사되는 액체를 표현하기 위해 헤어 입자들의 속도 v 를 격자에 프로젝션하여 비압축성 속도장을 계산한다 (Equations 6~7 참조).

$$u_v^*(x) = \frac{\sum_i m_i v_i W_i \eta(\|v\|)}{\sum_i m_i W_i} \quad (6)$$

$$\eta(v) = \frac{1}{1 + e^{-v + \phi}} \quad (7)$$

우선 Equation 6을 이용하여 헤어 입자들로부터 격자의 속도를 계산한다. 여기서 $\eta(\|v\|)$ 는 모발의 움직임에 따라 다르게 적용되는 커널이며, 모발이 루트(Root)에서 팁(Tip)으로 갈수록 가중치가 커지는 형태이다. $u_v^*(x)$ 는 격자의 속도를 의미하며, $W_i(x)$ 는 x 의 위치에서 영향을 미치는 가중치로써 가우시안 함수와 유사한 형태에 의해 가중치 값이 계산된다. 헤어 입자의 속도가 격자로 매핑이 되면, 프로젝션 과정을 거쳐 비압축성이 적용된 속도장인 $u(x)$ 를 얻어낸다. 최종적으로 얻은 헤어의 속도장을 유체 속도에 혼합한다. 본 논문에서는 헤어의 속도장을 유체의 속도장에 더하는 과정을 외력과 같이 프로젝션 전에 수행하여 Divergence-free 조건을 만족시킨다.

III. Conclusions

본 연구에서는 젖은 헤어에서 분사되는 액체의 디테일한 곡선 운동을 표현하기 위한 결과를 만들어 냈다. 이전 접근법은 젖은 모발의 움직임과 동떨어진 액체의 움직임을 보이는 반면 (Figure 2b 참조), 제안하는 기법은 응집력에 의해 뭉치는 모발형태가 액체의 움직임에도 반영되어 디테일하게 곡선 운동하는 결과를 만들어 냈다 (Figure 2a 참조).

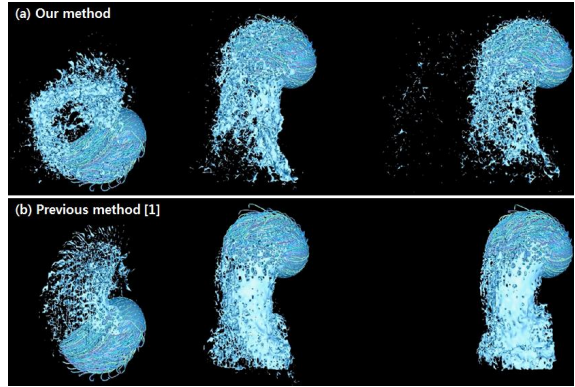


Fig. 2. Curved motion of liquid in wet hair

REFERENCES

- [1] Fei, Y.R., Maia, H.T., Batty, C., Zheng, C. and Grinspun, E., A multi-scale model for simulating liquid-hair interactions, ACM Transactions on Graphics, Vol. 36, No. 4, pp. 56, 2017.
- [2] Zhu, Y. and Bridson, R., July. Animating sand as a fluid, ACM Transactions on Graphics, Vol. 24, No. 3, pp. 965-972, 2005.
- [3] Müller, M., Kim, T.Y. and Chentanez, N., 2012. Fast Simulation of Inextensible Hair and Fur, Workshop on Virtual Reality Interaction and Physical Simulation (VRIPHYS), pp. 39-44, 2012.
- [4] Kim, J.H., Kim, W., Kim, Y.B., Im, J., Lee, J. and Kim, S.J., Robust handling of clumping and stiffness in wet hair animation, Computer Animation and Virtual Worlds, Vol. 28 No. 6, pp. e1796, 2017.