



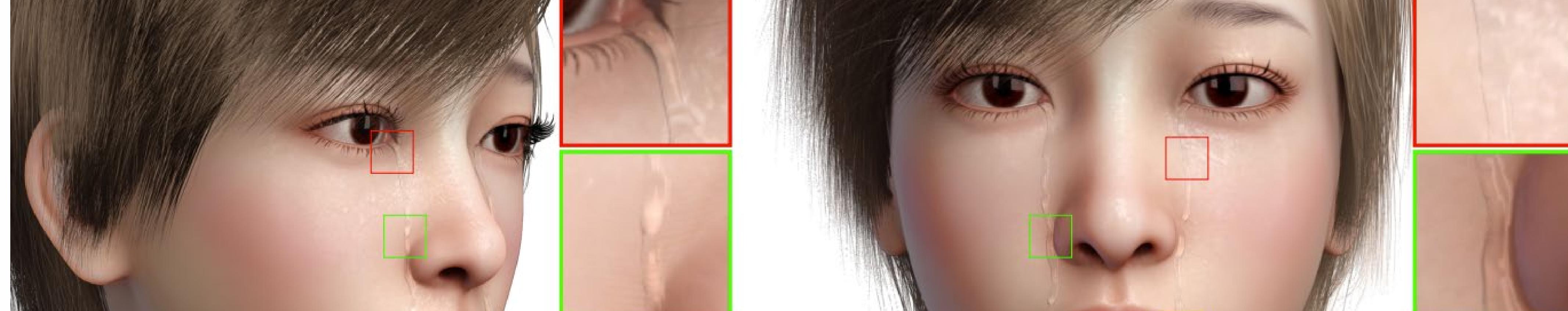
面向自由表面流模拟的半解析式表面张力模型

Semi-Analytical Surface Tension Model for Free Surface Flows

奴力夏提·芒尼可¹ 姚鹤斌 郑毅 石剑 乔颖 何小伟*

IEEE Conference on Virtual Reality + 3D User Interfaces (IEEE VR),
Poster, 550-551, 2022.

¹e-mail: nurshat@pku.edu.cn *e-mail: xiaowei@iscas.ac.cn



1. 介绍

本文提出了基于光滑粒子流体力学 (SPH) 的半解析表面张力模型。不同于以往的方法，本模型中流体粒子受到的粘聚力和黏附力在自由表面能框架里统一地进行处理。为了计算黏附力，我们采用半解析方法将体积积分转化为表面积分，可以将固体边界的三角网格直接引入到液固相互作用中。仿真结果表明，我们的模型可以有效地处理表面张力驱动的复杂固体边界。

2. 模型

我们把[2]的表面张力模型扩展为液固气三相

$$\mathcal{E}_i = \frac{1}{2} \frac{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{x}_i^*\|^2}{d_0^2} + f(c_i^f) + \frac{\kappa^f}{2} \|\nabla_i c^f\|^2 + \frac{\kappa^s}{2} \|\nabla_i c^s\|^2$$

根据[1]提出的半解析式方法

$$f^\beta(x) = - \int_{\Omega^k} G(r(\theta, \varphi)) d\Omega$$

把 $\nabla_i C^s$ 以固体表面积分的形式表示并离散化：

$$\nabla_i C^s = - \frac{\sum_j A_j C_j^s \mathbf{n}_j W_{ij} (\|\mathbf{X}_j - \mathbf{X}_i\|)}{\sum_j \Omega_j \tilde{W}_{ij} (\|\mathbf{X}_j - \mathbf{X}_i\|)}$$

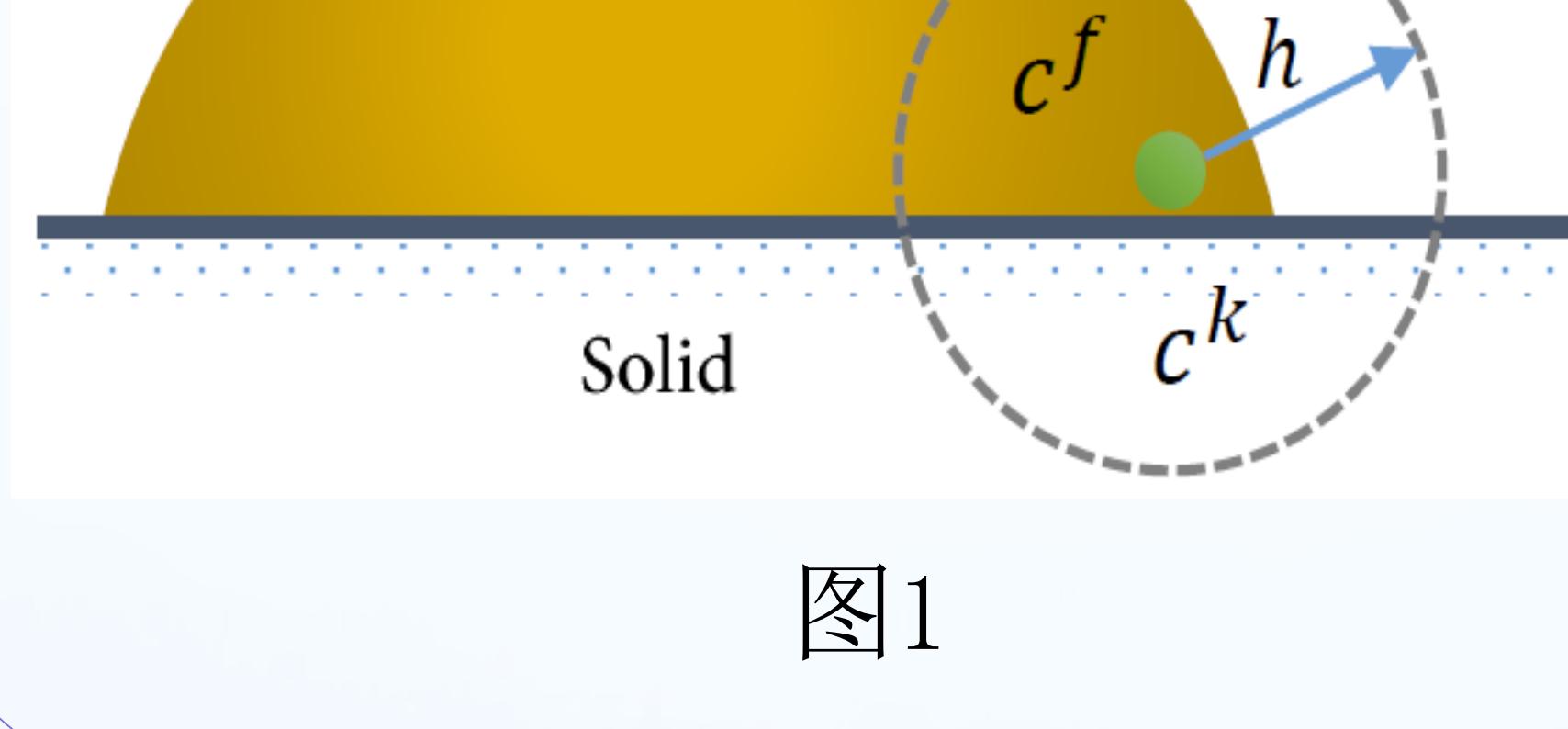


图1

3. 实现

我们基于 CUDA 在 NVIDIA 显卡 (GeForce RTX2080) 上运行了所有的示例。在眼泪的模拟中，共使用了67312个三角形和5070个粒子。当流体颗粒沿着脸颊流下时，它们可以与三角网格相互作用，并由重力沿脸颊流下，这里轨迹不是提前算好的，运行速度在20–60帧每秒范围。图2中，液滴由于树叶的疏水性，沿着树叶滑下，可以看到邻近的液滴合并在一起，并离开叶面时，液滴可以拉长并分离成小液滴。图3是由2197个粒子组成的液滴，可以得到较好的接触角效果。



图2

4. 结论

在本研究中，基于能量的表面张力模型[2]被扩展到处理液固相互作用，黏聚力和粘附力都可以以一种统一的形式来解决。我们的方法不需要对固体边界进行虚粒子采样，而直接通过三角网格来计算边界产生的黏附力，大大提升了仿真性能。

5. 参考文献

- [1] Y. Chang, S. Liu, X. He, S. Li, and G. Wang. Semi-analytical solid boundary conditions for free surface flows. Computer Graphics Forum, 39(7):131–141, 2020.
- [2] X. He, H. Wang, G. Wang, H. Wang, and E. Wu. A variational staggered particle framework for incompressible free-surface flows, 2020.



图3