

高级布料仿真技术整理

2023 年 11 月 14 日

目录

1	模拟基础	2
1.1	模型和模拟	2
1.2	离散化	2
1.3	布料的表示	2
2	质量弹簧阻尼模型	4
2.1	弹簧模型	4
2.2	显式积分法	4
2.3	隐式积分法	4
2.4	弯曲情况的改进	4
2.5	锁定问题	4
2.6	优缺点及应用	4
3	基于位置的方法	4
3.1	基于位置的动力学方法	4
3.2	投影动力学方法	4
3.3	约束动力学方法	4
4	有限元方法与弹性模型	4
4.1	有限元方法	4
4.2	有限体积方法	4
4.3	超弹性模型	4
5	物质点法	4

1 模拟基础

在开始之前，先简要介绍部分物理模拟领域的基础内容，作为之后提到的各种方法的基础。

1.1 模型和模拟

模型（model）和模拟（simulation）是创建物理模拟领域的两个关键概念，模型是一组对于物体的规则或既定的定律，表征并约束物体的行为或者操作方法，而模拟则是将模型封装在一个框架之内，从而预测该模型在时间上的演变。[2]

基于物理的模型也是模型的一种，它定义了一个系统如何表现各种物理规则。一般情况下，基于物理的模型是根据现实世界的物理规律构造的。但是，所有“真实”的模型实际上都是经过一定简化的——将影响较小的部分选择性忽略，专注于描述大尺度的行为和变化。

1.2 离散化

众所周知，现实世界的时空是连续的，但是在计算机中，数据和逻辑以离散的形式存在。因此，当我们对现实世界在计算机中建模时，需要将连续的时空离散化处理。

对于时间的离散化，是将时间细分为一个个时步（time step）的方法，忽略每个时步内部的变化，然后每次使用前一个状态的内容计算下一个时步的状态。而对于空间的离散化，将在下一节与布料的表示一起讨论。

1.3 布料的表示

在计算机图形学中，几何图形通常分解为许多三角形来进行表示。单个的三角形并不亮眼，但是许多三角形组合成的三角形网格拥有强大的几何表达能力。一个三角形由三个顶点（vertices or particles）和连接它们的边（edge）构成。布料是连续的材料，但是我们会把它分解为离散的顶点表示。

一个顶点一般具有坐标 x 和速度 v 两种内容，于是一个具有 N 个顶点的服装可以用两个向量 $x \in \mathbb{R}^{3N}$ 和 $v \in \mathbb{R}^{3N}$ 表示： [3]

$$x = \begin{bmatrix} x_{0_x} \\ x_{0_y} \\ x_{0_z} \\ \vdots \\ x_{N-1_x} \\ x_{N-1_y} \\ x_{N-1_z} \end{bmatrix}, \quad v = \begin{bmatrix} v_{0_x} \\ v_{0_y} \\ v_{0_z} \\ \vdots \\ v_{N-1_x} \\ v_{N-1_y} \\ v_{N-1_z} \end{bmatrix}.$$

2 质量弹簧阻尼模型

2.1 弹簧模型

2.2 显示积分法

2.3 隐式积分法

2.4 弯曲情况的改进

2.5 锁定问题

2.6 优缺点及应用

3 基于位置的方法

3.1 基于位置的动力学方法

3.2 投影动力学方法

3.3 约束动力学方法

4 有限元方法与弹性模型

4.1 有限元方法

4.2 有限体积方法

4.3 超弹性模型

5 物质点法

See Papers-notes

6 基于学习的方法

See Papers-notes

参考文献

- [1] Huamin Wang. GAMES 103 [MOOC]. GAMES-CN.
<https://games-cn.org/games103/>
- [2] House, D., & Keyser, J.C. (2016). Foundations of Physically Based Modeling and Animation (1st ed.). A K Peters/CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781315373140>
- [3] Tuur Stuyck (2018). Cloth Simulation for Computer Graphics (1st ed.). Springer Cham.
<https://doi.org/10.1007/978-3-031-02597-6>