

骨架绑定-技术文档（中期）

查益 2022012107 chay22@mails.tsinghua.edu.cn

一、项目概述

本项目计划实现一个基于骨架的三维模型动画系统，支持骨架绑定、蒙皮权重计算和实时动画预览。

二、运行环境

软件依赖

- python 3.8+
- PyQt5
- pyvista
- numpy
- Vtk

运行方式

目前功能相对耦合，支持一键测试样例：

```
python main_demo.py
```

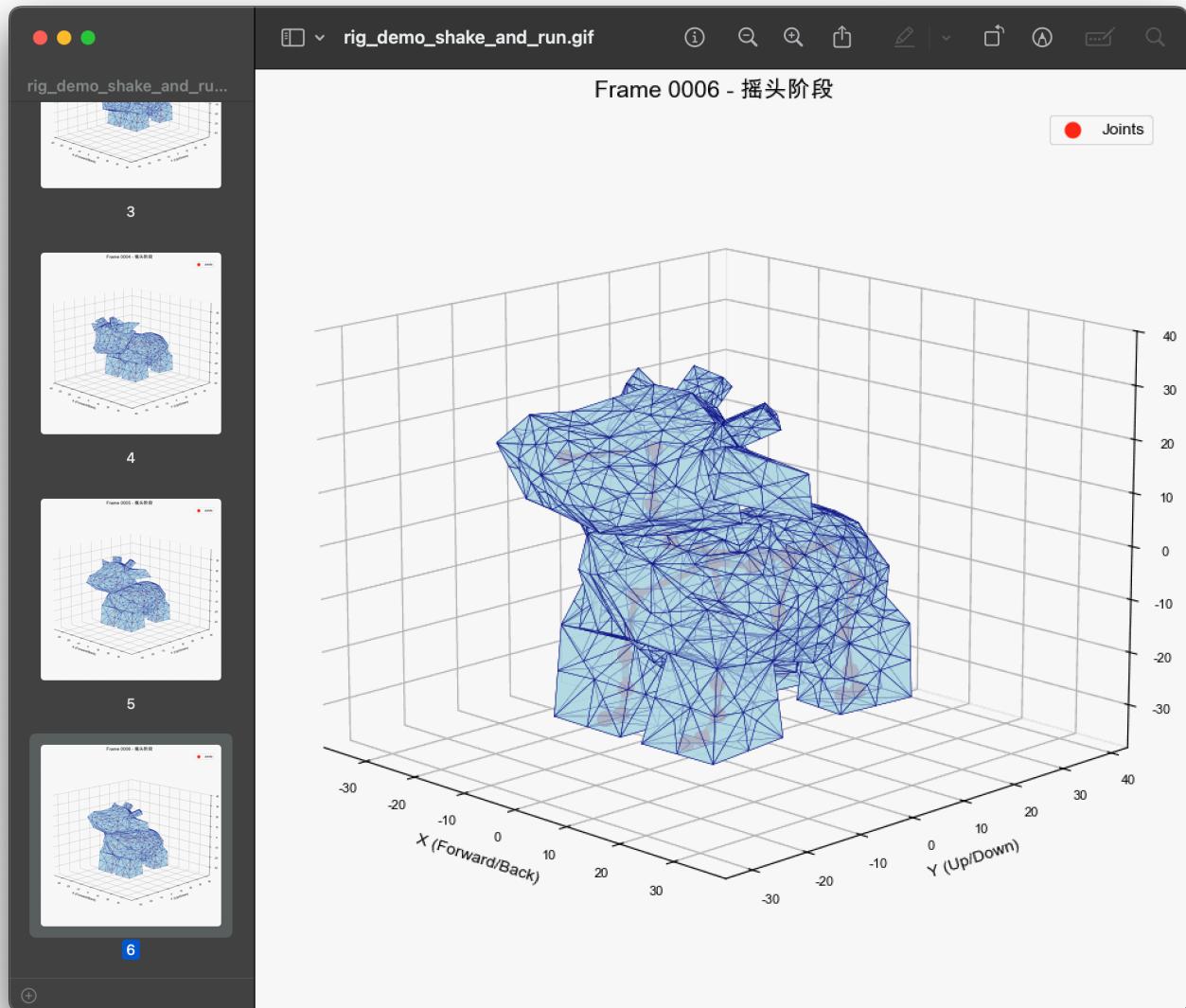
可以导入cow模型，并渲染生成相应的动画视频。

```
python ui_simple.py
```

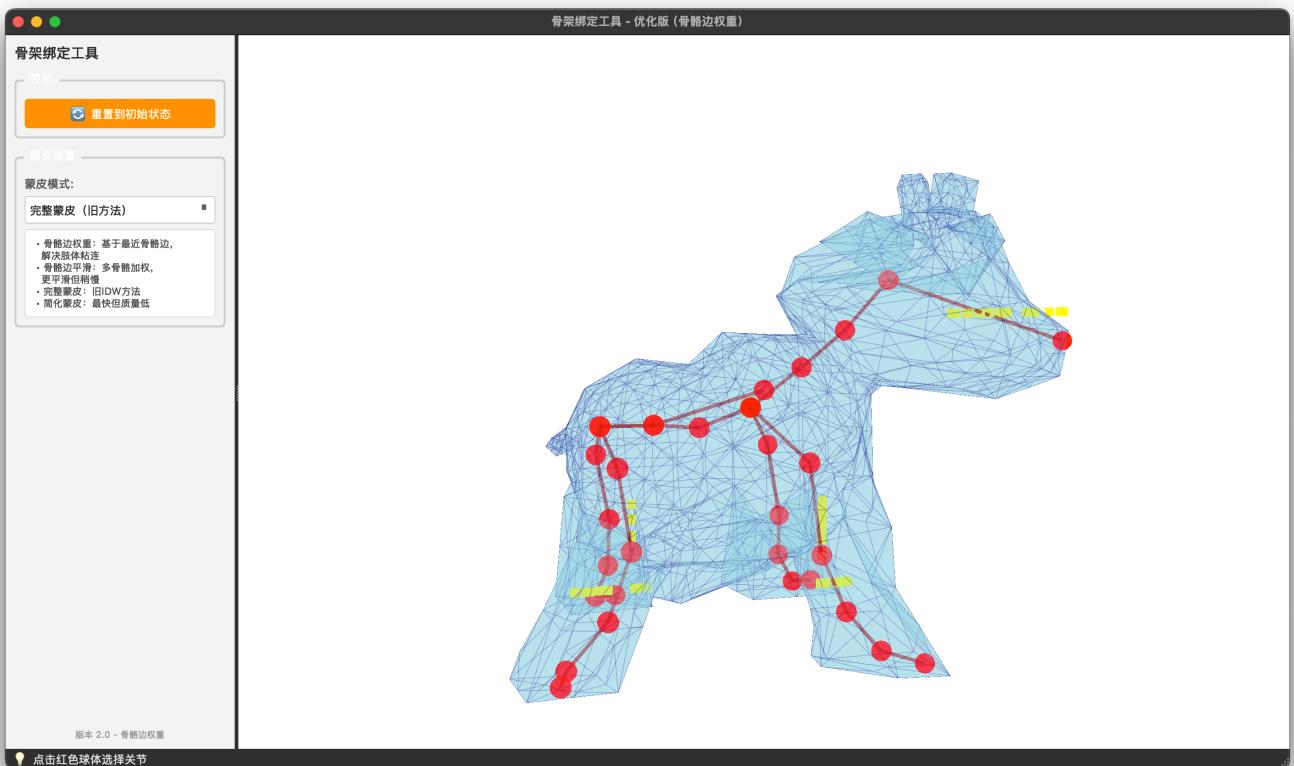
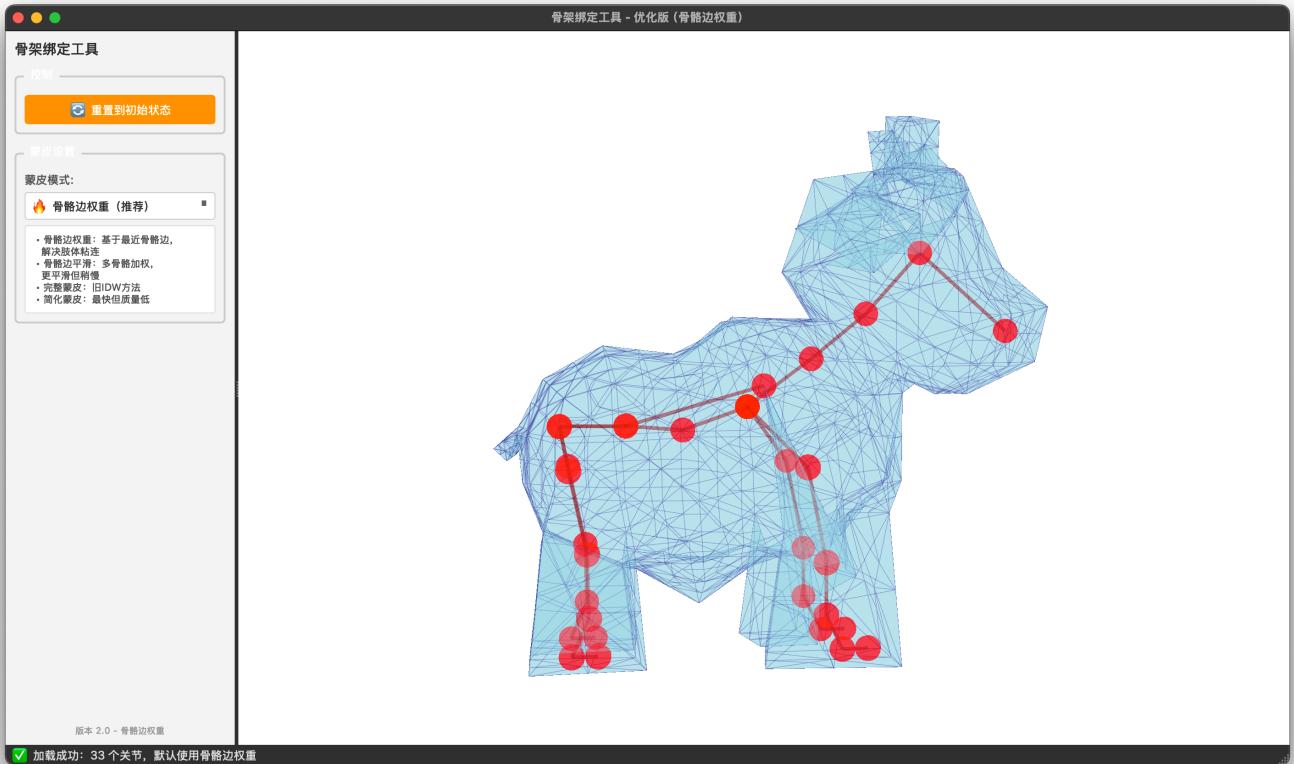
可以导入cow模型，打开交互界面，支持移动视角、缩放、移动关节并使蒙皮跟随。

三、运行效果

`main_demo.py` 可以加载模型和骨架，计算权重，生成“牛模型先摇头后奔跑”的视频和gif图。



`ui_simple.py` 可以生成一个交互界面。交互界面中可以拖拽编辑模型的骨架。图示内容是加载模型后的ui界面，以及拖拽了腿部和头部的模型。



四、功能实现

蒙皮获取

参考<https://github.com/alecjacobson/common-3d-test-models>

骨架设计

针对牛的体型特征，在关键的脊柱、头部、四肢处设置骨架。

在关键且符合生理学特征的位置设置关节点，大体设计按照脊椎动物的头-躯干-四肢进行设计。

因动画模拟能力有限，关节点设置数量比正常动物的大型关节稍多，使得动作能够相对生动。

蒙皮权重计算

使用IDW方法，基于逆距离加权计算蒙皮权重。

$$w_{ij} = \frac{1/d_{ij}^p}{\sum_{k=1}^M 1/d_{ik}^p} \quad (1)$$

其中 w 为顶点到骨骼的权重； d 为顶点到骨骼的距离； p 为幂指数，可以控制衰减速度。分母为归一化因子，保证最终权重和为1。

当距离变大时，权重以幂指数速度衰减。这也符合正常运动的规律：蒙皮的控制大部分取决于临近骨骼，而远处骨骼移动时，则会轻微牵动蒙皮移动。

LBS变形

线性混合蒙皮变形

$$\mathbf{v}' = \sum_{j=1}^M w_j \mathbf{T}_j \mathbf{T}_{\text{bind},j}^{-1} \mathbf{v}_{\text{bind}} \quad (2)$$

其中 \mathbf{v} 为顶点在初始姿态下的位置， \mathbf{v}' 为顶点在变形之后的位置， w 为顶点对骨骼的权重， \mathbf{T} 为变换矩阵， M 为影响该顶点的骨骼总数。

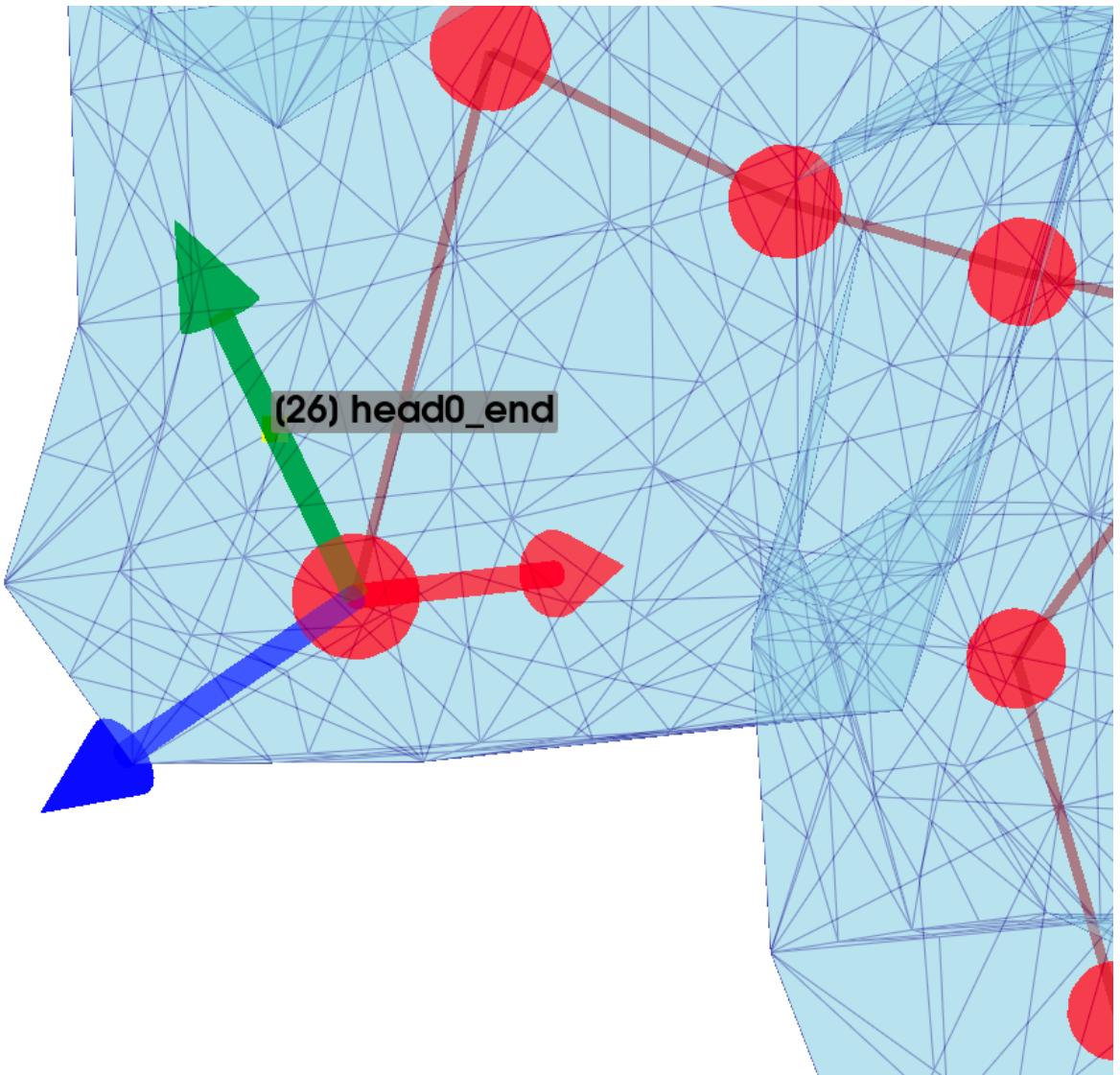
变形过程中，首先变换到骨骼 j 的局部坐标系，应用变换，并回到世界坐标系，最终加权混合所有变换结果。

交互界面

使用 PyQt5 库制作 UI 界面，VTK 库实现 3D 交互，PyVista 实现 3D 可视化与 Qt 集成，以及实时更新渲染。

提供相机控制，支持旋转，缩放，平移。

支持关节移动，并优化逻辑。单击关节选中后呈现类 Blender 的 Gismo 箭头，可以对关节进行精确的三维拖拽。



五、参考材料

获取蒙皮：<https://github.com/alecjacobson/common-3d-test-models>

骨架和动作参考：<https://www.anything.world/>

blender使用和骨架编辑：<https://docs.blender.org/manual/zh-hans/2.80/animation/armatures/bones/editing/bones.html>

部分想法和部分代码实现使用大模型辅助参考。