

# Galaxy Engine

推荐人数: 2-3人

出题负责人: 樊斯特([fanst2021@mail.sustech.edu.cn](mailto:fanst2021@mail.sustech.edu.cn))

## 项目简介

高级程序设计偶遇重力系项目，引力场展开强如黑洞，拼尽全力无法逃脱

高性能计算经常被用于天体物理模拟以及天体数据处理中。在模拟天体系统时，涉及大量天体的相互作用和复杂的物理计算，数据的尺度从个位数到上百万不等，天体物理模拟领域也衍生出了众多从 $O(N^2)$ 的精确物理模拟到 $O(N)$ 的FMM<sup>1</sup>等算法，广泛应用于天文研究领域。

在本项目中，你的团队需要开发一套用于多天体模拟计算的高性能C/C++库，以适应不同规模的天体物理模拟，并通过直观优雅的形式展现该库的使用实例。通过本项目你可以收获：学习编写开源库的规范、CPU/GPU并行计算的使用经验、简单GUI设计，以及基本的天文学知识和简单模拟算法等等。

## 项目要求与实现细节

### Galaxy Engine Library (40分)

在这一部分中，你需要完成Galaxy Engine的核心功能，实现一个灵活的高性能C/C++库，用于模拟天体系统中的多天体相互作用。主要要求如下：

#### 1. 数据结构与算法 (10分)

- 根据不同场景选择合适的数据结构，提供天体模拟过程中的数据存储
  - 要求利用面向对象编程模式管理天体数据，并做好类成员权限管理，编程规范
    - 可以参考的实现类型有：天体、轨迹、星系等
  - 天体数据包括但不限于：时间、空间坐标、速度、加速度、质量、半径等（可根据计算精度增加更多参数）
  - 基础要求中，天体坐标均为二维坐标，观测为俯视角观测

#### 2. 引力计算与天体状态更新 (10分)

- 提供两种及以上的模拟算法接口，用于不同尺度或不同场景的模拟计算
  - 小规模计算：经典牛顿力学， $O(N^2)$ 引力计算
  - 大规模计算：实现高性能模拟算法<sup>1 2</sup>，用于数量更大的计算
- 需要提供的更新接口：天体、轨迹等各项数据，摄像头机位渲染数据等

#### 3. 并行计算支持 (15分)

- 实现并行计算以提高计算速度，如有条件可尝试使用多计算机/多CPU/多GPU调度
- 并行化处理每个天体的相互作用，提升大规模模拟或渲染画面时的计算效率
  - OpenMPI <sup>3</sup>, CUDA <sup>4</sup>, OpenGL <sup>5</sup>, SIMD <sup>6</sup> etc.
- 纵向比较不同数据量下库的表现，横向比较该库在启用并行计算、CPU/GPU加速后与自身的对比，与现有天体物理模拟计算框架进行效率比较
- GitHub等开源平台有很多天体模拟的开源库，比较该库以及Galaxy Engine的瓶颈，给出可能可以提升的方式和大致提升空间的预估

#### 4. 模块化设计、接口与易用性 (5分)

- 设计清晰的API，便于配置天体参数以及时间步长、模拟步数等运行参数
- 模块化设计库的组件，将不同功能分离，简化上手使用难度，实现数据结构/算法可扩展性
- 保证库的可移植性和易用性，可以作为静态库/动态库使用，尽可能开箱即用
  - 可以使用CMake/Docker <sup>7</sup> /Kubernetes <sup>8</sup> 等工具

## 用例展示 (40分)

基于小组开发的C/C++库，编写一个或多个使用实例，用简洁优雅的方式展示如何实际使用该库。

#### 1. 基础用例：小规模天体模拟 (20分)

- ☒ 实现一个包含少量天体的小型系统（三体、太阳系等），演示多个天体间的相互作用
- 支持从单个或多个文件输入天体数据，对于如撞击、日食等可自定义的天体事件输出到日志，并支持导出天体系统数据到文件 (5分)
- 支持可视化效果 (15分)
  - 要求数据的输入输出对接计算库接口
  - 在界面中提供以下功能：
    - 可以移动的摄像头观测位置
    - 添加/删除/修改/查看天体和轨迹数据
    - 时间调控：正向推进/逆向反演、时间步长调整、跳转等等
  - GUI形式不限，支持多语言编写：OpenGL <sup>5</sup>、Web前端、甚至是ASCII渲染 <sup>9</sup>。请尽情发挥创造力！

#### 2. 大规模模拟展示 (20分)

- ☒ 实现若干个大规模天体系统模拟，用于展示Galaxy Engine在高性能计算下的效率与精确度
  - 根据自己的算法实现选择合适的大规模数据尺度，并不是越大越好，需要做好精确和高效的权衡
- 支持从单个或多个文件输入天体数据，对于如撞击、日食等可自定义的天体事件输出到日志，并支持导出天体系统数据到文件 (5分)

- 支持可视化效果（15分）
  - 要求数据的输入输出对接计算库接口
  - 在界面中提供以下功能：
    - 可以移动的摄像头观测位置
    - 导入/导出星体数据
    - 时间调控：正向推进/逆向反演、时间步长调整、跳转等等
  - GUI形式不限。

## 额外部分 (不超过40分)

此部分为额外加分内容，主要鼓励创新性设计和高难度功能的实现，以下为一些可能的加分点：

### 1. 高性能计算相关（每项10分）

- 使用多台计算机进行计算任务的分布式调度和结果整合，也可以使用Docker等用多容器模拟。
- 为库提供性能压力测试工具和测试集，关注泛用性，最好可以在接口明确的情况下直接用于测试其他计算库

### 2. 真实天体数据导入与导出（10分）

- 支持从真实天体数据集中自动导入数据更新，并根据该数据进行天体模拟。
- 使用真实数据进行模拟并展示，帮助用户理解和观察真实天体系统的运动规律。

### 3. 高级可视化与交互（以下每项10分）

- 增加引力场、力的可视化功能，以增强对天体系统结构和引力分布的直观理解
- 支持三维天体系统渲染，给摄像头多一个Z轴，允许用户观测到星图、日食等
- 为天体增加非纯色材质，支持导出为视频（可以不用很长，渲染几秒能看得出动态也可以）

### 4. 奇思妙想（不超过20分）

请在报告中详细介绍该部分的实现细节以及工作量，并清晰地展示使用场景，但不要贴一整版代码！

- 支持四维天体系统渲染<sup>10</sup>。摄像头可能需要更多的方向键，你可能需要更多的想象力！
- 提供更真实的物理模拟
  - 支持天体的碰撞合并，合并后的天体继承质量和动量，形成新的天体
  - 支持更多的天体类型以及天体演变行为，例如黑洞形成与彗星融化等
  - 实现一些牛顿力学无法准确模拟的现象，或是支持非标准球体
- 使用光线追踪等提升渲染质量和效果，现在我们可以观测日食、月亮盈亏、金星凌日了！
- 我们的代码规范、进度管理、分工协作真的很棒，商用级的那种！
- .....

# 项目提交

## 代码提交

推荐使用Git管理项目，如采用开源协议开发项目，可在报告中给出Git链接，也推荐使用Docker将项目打包为镜像后上传至DockerHub。若为闭源开发，请将整个项目打包为.zip后缀压缩文件。

请保证在代码根目录下的帮助文档(README)中对环境配置（如依赖库、软件版本等）进行详细介绍，以确保项目在指定环境下可复现使用。

## 报告提交

本项目采用线上答辩进行评分，请根据评分标准预先准备一份答辩用幻灯片，用尽可能简洁的方式展示所有得分点（包含上述性能比较报告等），突出项目的额外亮点。

请随代码另提交一份pdf格式的项目报告（压缩包外），内容区别于帮助文档(README)和评分用答辩PPT，从结构/算法设计、代码实现、性能分析、测试效果、相关工作等角度展示项目。该报告作为辅助材料，不直接影响评分，主要作为此后同学们申请/面试时通过此项目展示开发与研究能力的参考，因此篇幅与格式不限，完善程度满足自身需求即可。

- 
1. Fast multipole method - Wikipedia ↗↗
  2. Barnes-Hut Simulation ↗
  3. MPI Tutorial ↗
  4. CUDA C++ Programming guide ↗
  5. OpenGL Tutorial ↗↗
  6. SIMD Basic Tutorial ↗
  7. Docker Tutorial ↗
  8. k8s Tutorial ↗
  9. GitHub/ASCII-galaxy-simulation ↗
  10. GitHub/4D Camera ↗