

基于 GPU 的碰撞检测算法

助教：韩宇轩 邮箱：hanyx22@mails.tsinghua.edu.cn

2025年9月24日

重要提示：

- 请仔细阅读本文档，确保提交的项目文件内容与格式符合本文档要求
- 本次作业由单人完成，杜绝抄袭，一旦发现将取消本次作业成绩
- 本文档仅用于参与本次课程的同学使用，请勿对外传播

1 背景介绍

在动画领域，物体运动和仿真中为了防止穿模，需要进行碰撞检测；在光线追踪渲染中，也要计算光线与物体之间发生的碰撞。所以，一个快速的碰撞检测算法对于大规模运动仿真以及大场景渲染非常重要。

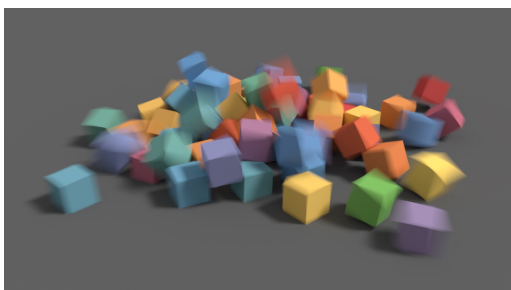


图 1: 运动仿真：物块碰撞

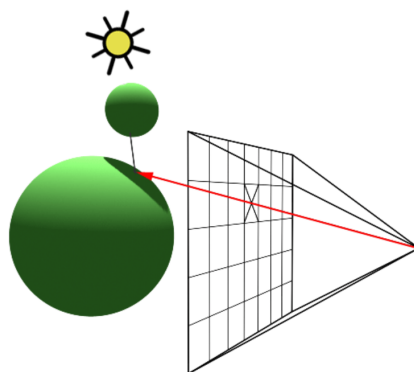


图 2: 光线追踪渲染技术：光线与物体的碰撞

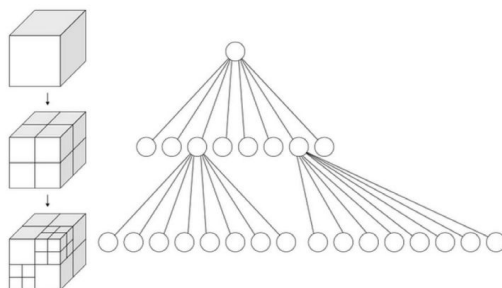


图 3: 空间划分的数据结构：八叉树

n 个物体的最简单的碰撞检测算法，查询所需的计算复杂度为 $\mathcal{O}(n^2)$ 。可以使用空间划分的数据结构对

碰撞检测进行加速，可以将计算复杂度降低为 $\mathcal{O}(n \log n)$ 。如果将算法移植到 GPU 上进行，则可以进行加速。

2 作业内容

作业内容要求如下：

1. 实现一种基于 GPU 的快速大规模碰撞检测算法。
2. 测试分析算法的性能。
3. 将算法应用在如下的应用中：一个固定场景中有大量小球或者物体。各个小球或物体有不同的半径、质量、初速度和弹性系数，利用所实现的最近邻查找算法对小球或物体的运动和碰撞进行仿真，制作一段动画。其中，小球或物体均作为刚体考虑即可，无需考虑碰撞引起的自身形变。动画制作可以自己完成，也可以使用现有的软件进行渲染。
4. 提高要求（可选）：使用3D Gaussians表示固定场景，在场景中插入若干小球，实现3D Gaussians场景与小球之间的碰撞检测，并进行仿真，制作一段动画。其中3D Gaussians场景可视作若干椭球，3D Gaussians场景与插入小球的渲染过程可参考开源项目（<https://github.com/graphdeco-inria/gaussian-splatting>）。（运行3D Gaussians渲染程序有一定设备要求，需要Nvidia显卡，且显存不小于6GB，3D Gaussians场景可从开源项目中下载。）

3 评分要求（大作业成绩占总成绩的85%）

1. 运行效果（功能、效率、bug）40%
 - (a) 程序应当正确仿真物体的运动及其动画效果 4%
 - (b) 程序应当正确仿真物体的碰撞及其动画效果 10%
 - (c) 程序应当能够达到应有的效率 20%
2. 代码质量 30 %
 - (a) 代码应当包含必要注释 10%
 - (b) 代码的风格应当具有统一性 10%
 - (c) 代码应当具有可移植性 10%
3. 中期文档（第9周提交）5 %
 - (a) 说明碰撞检测的加速算法设计 2%
 - (b) 说明GPU实现的思路设计 2%
 - (c) 参考文献 1%
4. 结题文档（第18周提交）10%
 - (a) 说明程序运行环境，以及项目和代码依赖的编程环境 1%
 - (b) 各个程序模块之间的逻辑关系 1%
 - (c) 简要说明各个功能的演示方法 1%
 - (d) 程序运行的主要流程 2%
 - (e) 算法性能测试结果分析 4%
 - (f) 参考文献或引用代码出处 1%

4 作业提交

请在大作业截止日期前提交压缩包至网络学堂，其中包含可执行文件目录、源文件目录、文档、演示视频。**如果作业迟交，将会扣除一部分分数，每迟交一天扣除10%的大作业得分。**

参考资料

碰撞检测以及空间划分的数据结构有很多参考资料，下面给大家提供一些。

- ¹ <https://www.cnblogs.com/KillerAery/p/10878367.html> 这个博客介绍了关于空间划分的数据结构。
- ² <https://developer.nvidia.com/gpugems/gpugems3/part-v-physics-simulation/chapter-32-broad-phase-collision-detection-cuda> NVidia 上的关于使用 CUDA 碰撞检测资料，大家可以看一下这个博文的内容以及它的参考资料。
- ³ <http://kunzhou.net/> 周昆老师的个人主页上，其中 **GPU Parallel Computing** 内有很多可以参考的内容。