小球碰撞模型的物理分析、算法设计和基于OpenGL的可视化实现

小组成员：朱宝林、尤比佳、林佳诚、张宏彬

指导老师：黄罗华

摘要：

关键词：

一、研究背景

经过几个世纪的发展，数学、物理等基础学科理论已日益完善。随着研究内容越来越深入，其高度抽象的公式无法直观理解，复杂的计算难以靠人力来完成。现代科学研究常以数学、物理等基础学科作为理论基础，而将计算机作为计算和可视化工具。此次研究性学习，我们选取物理学的经典模型——小球碰撞为研究对象，进行物理理论分析，并尝试在计算机上模拟实现以此模型为基础的一些应用场景。

小球碰撞模型在物理研究中具有重要意义。物理学的一个重要方法是理想化模型。当物体自身形状可以忽略时，常常将其简化为小球或质点进行处理。借助小球碰撞模型，物理学家对理想气体的微观运动进行了深入探索。小球碰撞模型还在化学反应动态过程、元素相变、最密堆积问题、天体物理等领域具有广泛应用。

在现代科学研究中，计算机已经成为不可或缺的一环。计算机凭借其强大的性能和高效的算法，能够快速处理海量数据并得到准确的结果。利用可视化技术，研究人员得以实时观察数据情况，获得直观感受。

二、研究目的与意义

通过此次研究，我们希望深入探索小球碰撞这一经典模型，学习物理研究的基本方法；探索在计算机上模拟物理过程，学习使用算法处理大量数据；学习使用图形库将研究结果可视化；学习运用科学研究方法探索、分析并解决问题，实际体验科学研究过程。这将极大地培养我们的和科学研究能力，为我们将来从事科学研究工作打下坚实基础。

三、研究内容

物理：刚性小球碰撞模型：物体模型、状态模型、过程模型

算法：碰撞检测、事件处理（排序）、驱动模拟

可视化：OpenGL库的使用

四、研究方法

实验法、文献研究法、模型方法、信息研究方法

五、成果正文

1. 物理分析
   1. 物理建模
      1. 物体模型
      2. 状态和过程模型
   2. 过程分析
      1. 碰撞判断和时间计算
      2. 碰撞过程分析
   3. 应用
      1. 台球
      2. 布朗运动

二、算法设计

2.1 抽象数据类型设计

为了使用计算机实现对上述物理过程的运算，并将其运用到更多模型中，我们对相关数据进行了抽象，封装成抽象数据类型以方便使用。

我们定义了以下数据类型及其API

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ball类 |  |  |
|  | Ball |  |
| glm::vec3 | loc |  |
| glm::vec3 | vel |  |
| double | r |  |
| double | m |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

（为了简化运算，我们在Ball类中使用了GLM数学库中的向量vec3类表示小球在世界空间中的位置和速度。）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Wall类 |  |  |
|  | Wall(const glm::vec3 point, const glm::vec3 norvec) | 用空间中的点和法向量创建一个墙壁 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

（Ball类是Wall类的友元，便于操作函数访问Wall的数据）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Event类 |  |  |
|  | Wall(const glm::vec3 point, const glm::vec3 norvec) | 用空间中的点和法向量创建一个墙壁 |
|  |  |  |
| bool | is\_related(const Ball & ball) | 判断事件是否与该小球有关 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

（Event）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Event\_mgr类 | | |
|  | Event\_mgr() | 创建一个事件优先队列 |
| void | push(Event & event) | 将事件加入队列 |
| void | disable(const Ball & ball) | 删除所有与该小球有关的事件 |
| void | pop() | 处理并弹出队列顶端的事件 |
| void | handle(Event & event) | 处理指定事件 |
| void | delete(Event & event) | 指定删除某事件 |
|  |  |  |

2.2 面向对象程序设计

2.3 实现过程要点

2.3.1 事件

一次碰撞事件至少应当包含：发生碰撞的两个物体的信息，发生碰撞的时刻

事件类型：在我们构建的物理系统中，碰撞有小球之间的碰撞和小球和墙之间的碰撞，我们分别使类内bool类型成员type为0或1来表示。

事件有效：我们提出两种方法：①处理事件时判断有效性：在类内创建小球碰撞次数的记录。显然，如果在处理该事件时小球的累积碰撞次数发生了变化，即与事件中的记录不符，则在此事件发生前小球必定已经发生了碰撞，因此可以判断事件是否有效。②处理碰撞时删去无效事件：碰撞后，小球的运动轨迹发生改变，与该小球有关的事件均失效，因此可以在每次碰撞后标记或删去无效事件。我们预测：方法①具有更高的效率，方法②可以在一定程度上减少内存使用冗余。

事件时间：在优先队列中，事件按绝对时间进行排序，即从t=0的初状态开始的时间。timeToCollision方法仅能得到事件发生距离当前时刻的时间，在事件中记录时间时应当加上当前时刻的时间。

2.3.2 优先队列：STL库和自己编写

2.3.3

2.4 算法分析

2.5 优化方法

2.5.1 包围盒检测

2.5.2

三、可视化实现

3.1 OpenGL

3.1.1 小球和墙的模型

3.1.2 相机

3.1.3

六、成果应用

七、感悟反思

八、参考文献

[1]Sedgewick.算法(第4版)[M].人民邮电出版社:北京,2012:0-636.

九、附录

课题框架：

2.算法分析

2.1时间驱动算法

小球队列

定步长，每/clock执行一次

刷新小球move(t)

4.应用和前景

4.1一个简单的桌球游戏

4.2模拟布朗运动

花粉粒子受水分子撞击而随机运动

4.3在统计物理中应用小球碰撞模型

课题背景：要点：经典问题，基础却重要，结合计算机，体会信息技术在科学研究中的应用

小球碰撞是物理领域的经典模型。许多复杂的物理问题，诸如理想气体分子间相互作用、最密堆积问题、布朗运动等都以小球碰撞为基础。计算机也在科学研究中占有越来越重要的地位，高效的算法能够迅速计算大量数据，使得模拟星系、气体分子系统等成为可能。研究基础问题，将大大加深我们对

标准球台

（一）斯诺克台面规格

斯诺克球台

斯诺克球台

标准球台的内沿竞赛面积为3569毫米×1778毫米，误差不得超过正负13毫米。球桌的高度为851毫米至876毫米（从地板到台框边）。球桌的四周各有一个球袋（两个位于置球点一端的叫顶袋，两个位于罚球区一端的叫底袋）；另外在球台的两个长边正中心各有一个袋口（称为中袋）。袋口的宽度应符合世界职业比列式及斯诺克桌球联合会（ WPBSA）确定的规范（最近距离85.0毫米）。

（二）开球线与底区

距离底岸内沿737毫米、画一直线平行于底岸，称为开球线；开球线与底岸之间的区域为底区。

（三）开球区

在底区内，以开球线的中点为圆心，以292毫米为半径画出的半圆形为开球区。

（四）置球点

球台上有四个置球点位于纵向中心线上，其中：黑球点：距顶岸垂直距离为324毫米。蓝球点：球桌正中心。粉球点：顶岸与蓝球点连线的正中点。棕球点：开球线的中心点。

球、球杆与辅助器械

（一）球

斯诺克台球: 直径:52.5mm 重量:154.5g（二）球杆

1、15只红球相互紧贴成等边三角形摆在红球区；三角架顶点的那只红球位于球台中心线，并尽可能靠近粉色球，但不得相贴；三角架的底线与顶岸平行。

每个球的直径为52.5mm,

从30.5 cm高度自由掉落的[桌球](https://www.knowpia.cn/pages/%E6%A1%8C%E7%90%83)，当碰撞到标准[钢铁](https://www.knowpia.cn/pages/%E9%8B%BC%E9%90%B5)板块后，应该弹回至24–26 cm高度，这对应为恢复系数在0.89与0.92之间

杆头（细端）直径在9－12mm左右