

文章编号: 1000 5013(2010)05-0526-04

集装箱堆场三维防风仿真系统设计与实现

陈哲亮¹, 吴清江¹, 丘文姬¹, 彭兴黔²

(1. 华侨大学 计算机科学与工程学院, 福建 泉州 362021;

2. 华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 运用 OpenGL 的建模、光照、材质、雾化等技术, 实现集装箱堆场的仿真, 获得效果良好的三维真实感图形. 主要建模对象包括集装箱、堆场、海平面和雨. 通过控制堆场的顶点来控制堆场的形状, 并提出通过判断俯视图是否相交来进行堆的碰撞检测的方法. 在粒子系统的基础上, 探讨风雨模型的可视化, 提出以线元来为基本造型单位构造风雨场景, 通过漫游、雾化、纹理映射等技术, 进一步增强堆场的三维真实感.

关键词: 集装箱; 堆场; 防风; 三维仿真系统; OpenGL; 碰撞检测; 粒子系统

中图分类号: TU 249.19; TP 391.41

文献标识码: A

台风具有突发性强、破坏力大的特点, 是世界上最严重的自然灾害之一. 沿海的集装箱码头货场是台风危害的重灾区. 因此, 开发集装箱防台风三维可视化软件, 直观显示集装箱堆场的风场流态, 可以为码头货场提出更切实有效的预测、预警和防范安全措施. 计算机图形学的发展使得可视化技术得以形成^[1]. 本文实现了基于 OpenGL 的集装箱堆场的仿真, 并对其中的关键技术进行讨论.

1 数据采集

以福建厦门的港口货运场为研究对象, 根据厦门的特殊地理位置和气候条件, 实地考察现代物流园区地形地貌. 在集装箱堆场附近建立自动气象站, 并利用邻近自动气象站, 对集装箱码头风场进行实时监测. 测取平均风的平均风速、极大风速, 风向统计, 脉动风的湍流度和阵风因子, 以及功率谱密度函数和脉动风速谱, 建立厦门相关风特性气象资料.

计算港口集装箱群的风压分布, 基于空气动力学原理的数值计算方法, 对处在大气边界层风场环境中的集装箱进行各种堆储状况和各个风向角下绕流流场数值模拟^[2]; 计算集装箱群的风压分布, 得出各类型集装箱在不同排数层高下的极限风速, 并将计算结果保存在数据库中.

2 仿真平台的建模

主要建模对象包括集装箱、堆场、海平面和雨. 堆场的形状往往根据实际应用情况会有所不同. 许多系统中, 用户在设置了堆场的形状后, 往往无法再进行较大的改动, 造成很大的不方便. 对此, 提出了通过控制堆场的顶点来控制堆场的形状. 顶点的数据结构如下:

```
Struct vertex                                     float x; // x 坐标
{
    float z; // z 坐标
    vertex * prevertex;
}
```

堆场边界顶点操作, 如图 1 所示. 每个堆场的所有顶点组成一个链表. 链表中的每个节点代表一个顶点对象, 相邻的两个顶点连成一条边, 共同组成堆场的边界. 每个顶点在系统中渲染为一些小的圆点,

收稿日期: 2009 06 27

通信作者: 吴清江(1949-), 男, 教授, 主要从事计算机图形学的研究. E-mail: wuqingjiang@msn.com.

基金项目: 福建省厦门市科技计划高校创新项目(3502Z20083039); 福建省厦门市发改委科技计划项目(2008 70)

通过对这些圆点的拾取、移动、修改、添加和删除, 可以很方便地控制堆场的形状. 确定堆场的形状后, 可为堆场映射水泥地板的纹理, 实现堆场的仿真.

集装箱采用长方体建模, 基于 3 维坐标的 (x, y, z) 平面. 系统中一共有 5 种集装箱型号, 每种型号集装箱的长、高、宽各不相同. 将这些参数保存在数据库中, 在集装箱绘制时可通过查询数据库获取. 每个堆由同一种型号的集装箱按一定的层高、排数堆成一堆, 如图 2 所示. 堆场中, 共有若干个堆排列, 每个堆的属性包括该堆的集装箱型号、集装箱层数、排数和位置等信息.

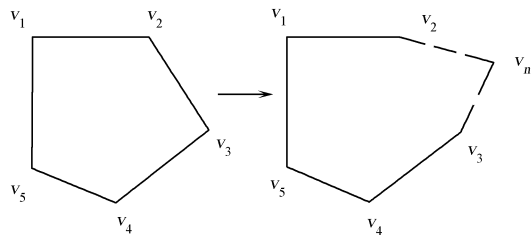


图 1 堆场边界顶点操作

Fig. 1 Operation of the boundary and the vertices of a container yard

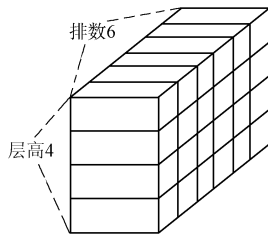


图 2 集装箱堆示意图

Fig. 2 Diagram of container yard

3 交互设计

3.1 系统的漫游

完成场景的建模后, 需要选择合适的视点和视角对场景作观察. 系统定义了摄像机对象, 通过键盘控制视点沿着视线方向前后左右移动, 以及通过鼠标来控制视线的方向, 从而实现虚拟系统的漫游^[3].

3.2 抗风测试

设置风速后, 系统根据每一堆的集装箱型号、排数和层高等参数, 查询数据库取得该堆的极限风速. 当堆场的当前风速大于某一堆的极限风速的时候, 系统判断到该堆有危险, 堆最顶层的集装箱就会掉落. 集装箱掉落过程是一个复杂的运动过程, 能否尽可能地模仿堆的掉落过程, 是系统逼真程度的关键. 为了操作方便, 设计如下 3 个掉落步骤, 如图 3 所示.

- (1) 旋转过程. 使顶层的集装箱绕着边沿旋转.
- (2) 掉落过程. 当旋转的角度超过 90°时, 集装箱开始掉落. 垂直方向上, 集装箱按照自由落体的速度下降; 水平方向上, 集装箱做匀速运动. 整体上是一个抛物体下落的过程.
- (3) 着地过程. 集装箱的某一个边着地后, 开始绕该边做减速滚动, 最后停稳了下来.

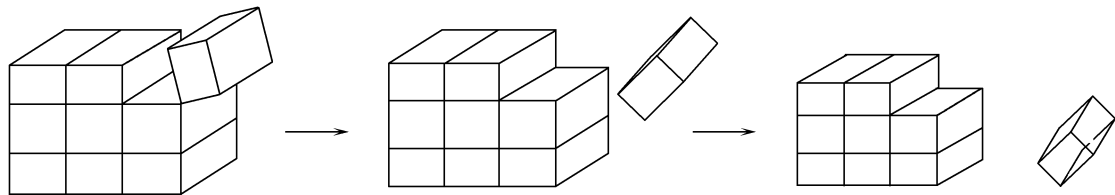


图 3 集装箱掉落示意图

Fig. 3 Diagram of container falling

4 碰撞检测

碰撞检测是检测虚拟场景中不同对象之间是否发生了碰撞, 涉及到碰撞检测和碰撞响应两部分内容^[4-5]. 为了防止集装箱的相互交迭, 当用户每次修改堆场时, 必须先进行碰撞检测. 如果检测到有碰撞时, 提示用户撤消该操作. 碰撞检测包括集装箱堆与堆的碰撞检测、集装箱堆与堆场边界的碰撞检测.

4.1 集装箱堆与堆的碰撞检测

堆的形状规则俯视投影为一个长方形, 当两堆相互碰撞时, 它们的俯视投影会产生干涉, 如图 4 所示. 因此, 判断两堆是否碰撞, 只需判断它们的俯视投影是否重叠. 判断两个长方形是否相交的方法有许

多种, 系统中, 通过计算出边的方程, 以两个长方形的 4 条边是否相交来进行判断.

4.2 集装箱堆与堆场边界的碰撞检测

堆只能在堆场的范围以内. 堆场的二维投影是一个多边形, 因此为了判断一个堆是否在堆场范围内, 只需判断该堆的 4 个顶点是否都在堆场的范围内. 如果一个堆的 4 个顶点都在堆场内, 则可以断定该堆在堆场内; 否则, 该堆或者与堆场相交, 或者在堆场外侧. 为了判断一个点是否在多边形内, 只需从该点引出一条足够长的射线, 判断该射线与多边形边的交点数, 如图 5 所示. 如果交点个数为单, 则该点在多边形内, 交点数为双, 则该点在多边形外^[6]. 实验表明, 不论堆的形状是凸多边形或者是凹多边形, 该方法都能很好地进行检测. 集装箱堆与堆场边界的碰撞检测仿真图, 如图 6 所示.

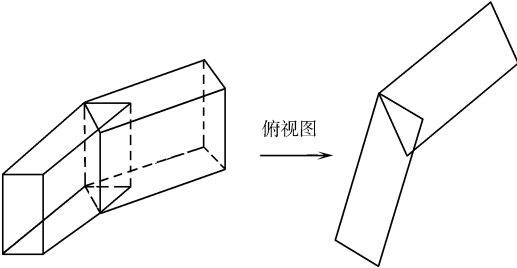


图 4 堆碰撞检测

Fig. 4 Collision detection of two piles

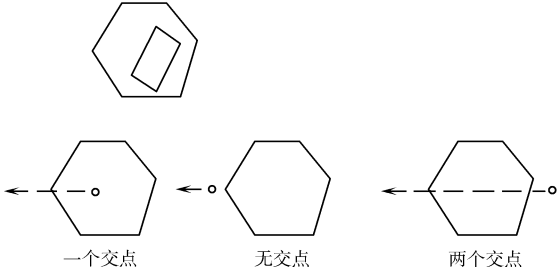
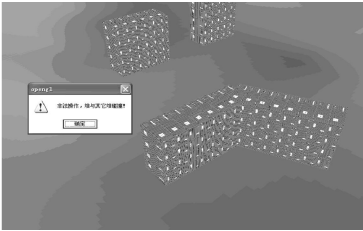
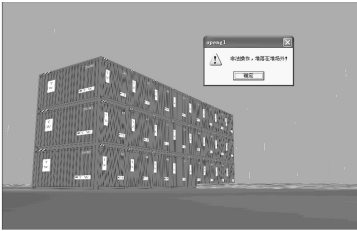


图 5 判断顶点与堆场边界的关系

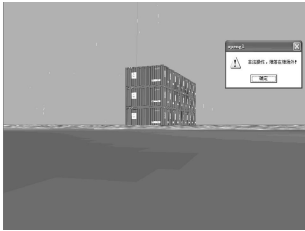
Fig. 5 Estimation the relation between a vertex and the boundary of the yard



(a) 两堆相互碰撞



(b) 堆落在堆场边界上



(c) 堆落在堆场外

图 6 碰撞检测仿真图

Fig. 6 Simulation diagram of collision detection

5 风雨的模拟

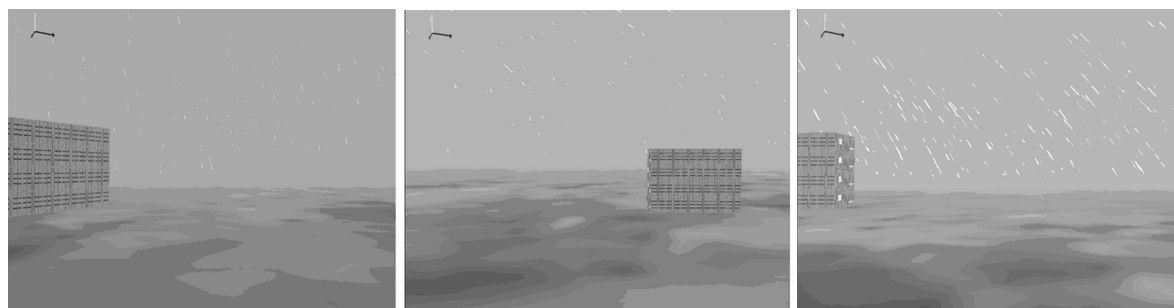
台风来临前后, 往往伴随着降水过程. 降雨的模拟可以大大地提高系统的真实感. 粒子系统是解决这一难点的有效方法. 粒子系统主要的优点是可以利用非常简单的粒子来构造复杂的物体, 为自然想象的造型提供了强有力的技术手段^[7].

(1) 采用粒子数组来组织粒子群. 运行时, 遍历粒子数组, 对于每个雨滴粒子, 判断其高度, 若高度小余零, 则重新初始化该粒子, 使该粒子重新按照一定的参数开始从高空上降落; 若该粒子高度大于零, 则绘制该粒子. 根据粒子的属性对粒子移动和变换, 更新该粒子的属性.

(2) 调节雨量大小, 可以通过控制粒子数目和粒子大小来进行. 当需要阴雨绵绵的天气时, 可以减少粒子数目, 且粒子较轻; 而需要暴雨天气时, 相应地增加雨粒子数目, 赋予每个粒子较大的质量.

(3) 风场对雨的影响. 一个雨滴在空气中共受到重力、风力、向上的阻力和水平方向上的阻力的作用. 其中: 风力和输入的风速成正比, 水平方向上的阻力与水平速度成正比, 垂直方向上的阻力和垂直方向上的速度成正比. 从第 1 帧开始, 在每一帧中, 计算粒子每个方向上的加速度, 进而计算出粒子的三维坐标位置. 用 Particle 定义每个粒子, 并用线元对雨粒子运动的轨迹进行离散化. 即在粒子绘制的时候, 首先保存粒子在上一时刻的位置 P_n , 再根据粒子当前的位置 P , 用线元将 P_n 和 P 连接, 线元将沿着粒子的运动轨迹前进.

雨过程模拟时, 场景中加入雾化效果能使雨粒子随着远离视线而淡入, 显得更自然、真实. 不同风速与不同雨量的仿真效果, 如图 7 所示.



(a) 风速大, 雨量小

(b) 雨量小, 风速大

(c) 风速大, 雨量大

图 7 风雨仿真图

Fig. 7 Simulation diagram of wind and rain

6 结束语

运用 OpenGL 的建模、光照、材质、雾化等技术实现了集装箱堆场的仿真, 获得了效果良好的三维真实感图形. 仿真系统, 能够直观显示集装箱堆场的风场流态, 为码头货场提出更切实有效的预测、预警和防范安全措施, 具有较大的实际应用意义.

参考文献:

- [1] HEARN D, BAKER M P. Computer graphics with OpenGL[M]. 蔡士杰, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [2] 郭葆锋. 建设设计中的虚拟现实[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2001, 22(3): 284-287.
- [3] 张冰, 陈万米, 梁亮, 等. 基于 OpenGL 的小型组机器人足球仿真平台设计[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(3): 724-728.
- [4] LIN M C, GOTTSCHALK S. Collision detection between geometric models: A survey[C] // Proc of IMA Conference on Mathematics of Surfaces San Diego: [s. n.], 1998: 37-56.
- [5] 王志强, 洪嘉振, 杨辉. 碰撞检测问题研究综述[J]. 软件学报, 1999, 10(5): 545-551.
- [6] WEISS M A. Data structures and algorithm analysis in C++[M]. 张怀勇, 等译. 北京: 人民邮电出版社, 1997.
- [7] 王润杰, 田景全, 倪政国. 基于粒子系统的实时雨雪模拟[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(4): 495-496.

Design and Implementation of the 3D Simulation System for Container Yard

CHEN Zhe-liang¹, WU Qing-jiang¹,
QIU Wen-ji¹, PENG Xing-qian²

(1. College of Computer Science and Technology, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China;

(2. College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: Using the modeling, lighting, material quality, fogging and other technologies of OpenGL, we have achieved a good effect 3D simulation graphic of container yard, which main modeling objects include containers, yard, sea level and rain. We propose a approach to control a yard's shape by controlling its vertices, and to detect if two piles are intersected by judging the relation of their top view. At last, we discuss the wind and rain model visualization based on particle system, and proposed a method to accomplish the rendering of rain and wind by line based on rendering technique. Practical use of the system shows that the application of navigation, fogging, texture mapping technology can strengthen the reality of yard.

Keywords: container; yard; wind-resistance; 3D simulation system; OpenGL; collision detection; particle system

(责任编辑: 黄仲一 英文审校: 吴逢铁)