

机场火灾场景的视景仿真研究

王立文, 李洪帅, 王 浩

(中国民航大学 航空特种设备研究基地, 天津 300300)

摘 要: 为了满足机场消防训练的要求, 提高训练效果, 设计并实现了机场火灾场景的虚拟仿真. 该仿真包含了粒子系统的设计、火焰和烟雾的建模以及与飞机不同部位起火的融合. 粒子系统建模中兼顾了视景仿真的实时性与真实性. 粒子系统实验中通过 VC++ 与 OpenGL 的 API 函数编码分别对火焰和烟雾的基本模型进行了验证, 并且利用天津机场的模型, 将火焰与烟雾的粒子仿真添加到 VEGA 的三维场景中. 实验结果表明, 该系统完全满足机场消防训练的要求.

关键词: 粒子系统; 火焰; 烟雾; 视景仿真

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)08-0154-04

Visual Simulation Research on Fire Scene of Airfield

WANG Li-wen, LI Hong-shuai, WANG Hao

(Research Base of Especial Ground Equipment on Aviation, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

Abstract: In order to fill the request of the pumper training in airfield and improve the effect of training, designed and achieved the fire scene simulation. The simulation contains the design of particle system, the model of fire and smoke, and the relationship between airplane and the model. The model has considered both the reality and real time. In the experiment, the particle system of fire and smoke is validated by the code of VC++ and the function of OpenGL. And the model of TianJin airfield is used to complete the simulation. The result shows that the system can reach the training request.

Key words: particle system; fire; smoke; view simulation

1 引言

随着我国经济社会的发展, 机场航班的数量迅速增加, 这也使得机场面临的情况日趋复杂. 机场中的飞机的频繁起降、各种地面服务车辆的繁杂的配合容易引发机场火灾. 机场火灾场景的仿真可用来模拟火灾场景, 为消防虚拟演练提供一个真实的三维环境. 对于虚拟现实的火灾场景而言, 火焰和烟雾的发生、运动模型以及两者之间的融合为其关键部分. 火灾场景仿真将直接影响训练员的决策, 从而影响训练效果. 因此, 开发出高仿真的火灾场景模拟系统对于机场消防演练来说是至关重要的.

火焰与烟雾同属于不规则的流动物体, 采用粒

子系统可以模拟出实时多变的特点. 粒子系统是迄今为止描述不规则物体最成熟的理论之一, 其用一定数量的粒子群体表示不规则物体, 然后控制粒子的运动来模拟不规则物体的运动变化. 本文采用高斯随机数确定粒子发生的初始位置以显现出火焰的团簇性, 并通过简化粒子复杂的运动来提高系统实时性. 利用 Visual Studio . NET 2003 编码将火焰和烟雾加载到 VEGA 空间中实现火灾场景的模拟.

2 粒子系统设计的过程分析

粒子系统由大量的基本粒子元素构成, 每个粒子都有相应的属性. 首先应根据建模描述的客观对象的外在特征, 得到粒子的外观属性. 同时根据研究

对象的运动状态,抽象出粒子的运动变化规律,对粒子属性进行定量描述. 粒子系统具体的生成步骤如下:

- (1) 粒子源发射器产生新粒子,并且加入系统;
- (2) 初始化每个粒子的属性;
- (3) 删除消亡或者剩余生存期为零的粒子;
- (4) 随着时间的推移,粒子属性、行为发生改变;
- (5) 绘制粒子系统模拟的景物.

粒子系统设计流程见图1.

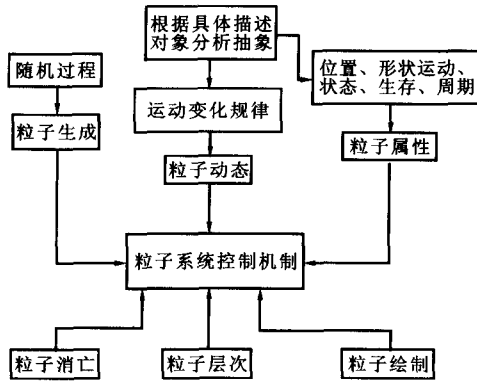


图1 粒子系统设计流程

3 火焰粒子模型的建立

3.1 火焰粒子的初始位置

在经典粒子系统理论中,新粒子位置初始化的方法不具有针对性,为了提高火焰发生的真实性,在新粒子的位置赋初值时采用高斯分布并结合随机数来确定新粒子的初始位置. 这样,火焰在生成时密度符合高斯分布,即:

$$PosX = \frac{1}{\sqrt{2\pi}R} \exp\left\{-\frac{(x_i - x_0)^2}{2R^2}\right\} \quad (1)$$

$$PosY = \frac{1}{\sqrt{2\pi}R} \exp\left\{-\frac{(y_i - y_0)^2}{2R^2}\right\} \quad (2)$$

$$PosZ = \frac{1}{\sqrt{2\pi}R} \exp\left\{-\frac{(z_i - z_0)^2}{2R^2}\right\} \quad (3)$$

式中, $\{x_0, z_0\}$ 是 XOZ 平面上燃点的位置, $\{PosX, PosZ\}$ 是 XOZ 平面上新粒子的初始位置. 由于采用高斯随机数为新粒子的初始位置赋值而不是根据火焰的物理性质得出,所以并不要求物理上和数学上的精确性. 为了进一步加快系统的运行速度,本文采用叠加 n 个随机数得到高斯随机数. 采用高斯随机数来对粒子的初始位置进行赋值可以使焰心处粒子密集,表现出火焰的团簇性.

3.2 火焰粒子的运动分析

虽然经典粒子系统模拟的火焰是动态的,但其

的运动具有一定的相似性. 例如,火焰粒子均是从某几个固定区域产生并简单地朝着某个方向运动. 为了增加火焰的真实,本文算法引入了动态运动场的思想,通过控制运动场的运动,动态改变火焰粒子的运动规律,使火焰粒子的运动更加灵活. 为了使运动场运动起来,运动场定义为实数域上的一个 n 维向量 $Y_n (n \in I)$. 漩涡场定义为具有角度、角度增量、空间位置、速度和加速度等属性的结构,即:

$$Y_{vortex}^n = \{\text{Angle}, \text{AngleDelta}, \text{Pos}, \text{Velocity}, \text{Acceleration}\} \quad (4)$$

式中, Angle 是处于漩涡场作用空间内的火焰粒子当前的旋转角度, AngleDelta 是角度增量, $\text{Pos} = (x, y, z)^T$ 是漩涡场的坐标, $\text{Velocity} = (V_x, V_y, V_z)^T$ 是漩涡场的速度, Acceleration 是漩涡场的加速度. 漩涡场由粒子系统生成,并且在生成时各属性值被初始化. 漩涡场生成后,在环境中按照自己的运动规律运动. 假设第 $j+1$ 帧与第 j 帧的时间间隔为 Δt ,则第 $j+1$ 帧时漩涡场的位置和速度为

$$\text{Vor}P_{j+1} = \text{Vor}P_j + \text{Vor}V_j \times \Delta t \quad (5)$$

$$\text{Vor}V_{j+1} = \text{Vor}V_j + a \times \Delta t \quad (6)$$

在三维火灾场景环境中,漩涡场可引起的火焰粒子围绕旋转轴旋转的运动. 漩涡场在系统中开始运动后,将动态改变处于自己作用空间内的火焰粒子的运动规律,使粒子的运动不再相似,而具有更大的灵活性.

根据牛顿第二定律,火焰粒子受到上述各个力场的合外力 F 后,粒子的空间位置和速度都会随时间发生变化. 设第 $j+1$ 帧与第 j 帧的时间间隔为 Δt ,则第 $j+1$ 帧粒子的速度 $V(V_x, V_y, V_z)$ 和空间位置 (P_x, P_y, P_z) 为

$$V_x = v_x + V_{win} * \cos\alpha + \text{Rand}() \quad (7)$$

$$P_x = p_x + \int_0^{\Delta t} V_x dt \quad (8)$$

$$V_y = v_y + \int_0^{\Delta t} \left(\frac{f}{m} - g\right) dt \quad (9)$$

$$P_y = p_y + \int_0^{\Delta t} V_y dt \quad (10)$$

$$V_z = v_z + V_{win} * \sin\alpha + \text{Rand}() \quad (11)$$

$$P_z = p_z + \int_0^{\Delta t} V_z dt \quad (12)$$

式中, $v(v_x, v_y, v_z)$ 和 $p(p_x, p_y, p_z)$ 是第 j 帧火焰粒子的速度和位置, V_{win} 是风速, a 是水平方向上风向的角度, f 是热浮力, $\text{Rand}()$ 是干扰风速的随机函数.

4 烟雾效果的粒子模型

烟雾粒子的运动变化与火焰粒子的基本一致, 只是需要在赋值时与火焰相区别, 以达到最佳效果为准. 假设烟粒子的属性如下: 初始质量为 m ; 初始空间位置 $L_0 = \{x_0, y_0, z_0\}$; 初始速度矢量 $V_0 = \{v_x, v_y, v_z\}$; 初始加速度矢量 $a_0 = \{a_x, a_y, a_z\}$; 寿命 life; 年龄 age; 颜色 color; 透明度 alpha. 横向风力 f_x ; 纵向风力 f_z ; 浮力 f_y ; 重力加速度 g . 将烟粒子的连续运动离散化, 计算烟粒子的瞬时位置. 设系统刷新间隔为 Δt 计算粒子位移时, 在 Δt 很小的情况下, 可以认为在 Δt 时间内粒子的速度保持恒定, 则经历 Δt 后烟粒子的位置变为

$$L = L_0 + \Delta t \times V_0 \quad (13)$$

经历 Δt 后: 粒子的质量保持不变, 速度 $V = V_0 + \Delta t * a_0$; 年龄 $age += \Delta t$; 横向加速度 $a_x = \frac{f_x}{m}$; 纵向加速度 $a_z = \frac{f_z}{m}$; 垂直加速度 $a_y = g - \frac{f_y}{m}$; 加速度矢量 $a = \{a_x, a_y, a_z\}$; 颜色、透明度相应变化. 同时环境属性应该根据需要做一些变化, 例如浮力和风力及方向的随机扰动, 体现自然界的混沌.

5 程序设计

计算机图形学的实现要依赖于 OpenGL 的图像生成技术. OpenGL 是一个以硬件为架构的软件接口(API), 它定义了一个跨编程语言、跨平台的编程接口的规格, 可用于生成三维图像. 程序开发人员通过应用图形程序开发接口, 再配合各图形处理函数库, 可以做到不受硬件规格影响的情况下开发出高效率的 2D 及 3D 图形. OpenGL 可与 Visual C++ 紧密接口, 保证算法的正确性和可靠性, 使用简便, 效率高. 本实验采用 Visual C++ 与 OpenGL 结合的方式来实现火焰与烟雾的绘制.

程序设计中, 粒子系统一般是以类的形式存在的, 其主要作用为: 生成新粒子并初始化相关属性; 根据粒子的运动模型来调用运动场中的更新函数更新其属性, 同时更新运动场的属性; 绘制粒子、渲染场景等. 粒子系统模块主要由 Cparticlesystem 类实现, 如下:

```
class Cparticlesystem
{public:
    Cparticlesystem();
    Virtual ~ Cparticlesystem();
    Draw(float, float);
```

```
Update(float fTime);
bool IsColliding();
//成员变量
float m_fTimeLastUPdate();
bool m_bIsColliding;
bool m_IsMoving;
COLORVECTOR m_vColorVar;
unsigned int m_uParticlesAlive;
POINTVECTOR m_vLolocation;
}
```

其中, Draw 函数用来绘制粒子系统, Update 函数用来更新粒子系统, IsColliding 用来处理粒子之间的碰撞.

在粒子系统的视景仿真中, 均是以粒子的发生、变化、消亡来模拟视觉效果. 因此, 火焰和烟雾的发生过程基本一致. 仿真过程的流程图如图 2 所示.

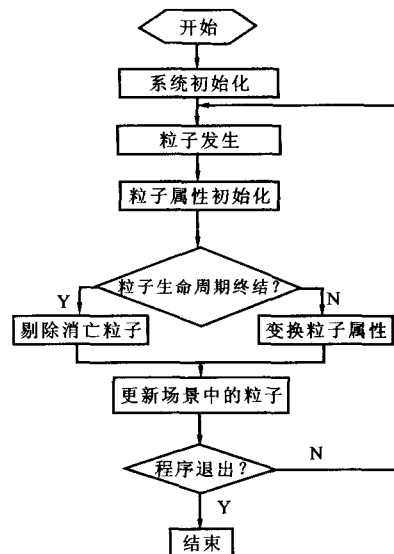


图 2 粒子发生流程图

最终粒子系统的仿真要运用到 VEGA 的三维空间中去, 视景仿真的总体流程图如图 3 所示.

6 仿真实验

机场火灾场景的仿真需要火焰与烟雾的有机配合并结合飞机上起火的不同部位对程序做出相应的改动. 因此, 首先对火焰与烟雾分别进行验证, 最终结合天津机场的三维模型实现仿真.

火焰与烟雾的模型仿真验证实验是在 Visual Studio .NET 2003 中完成的. 具体结果如图 4、图 5 所示.

飞机事故的火灾场景具有不可预知性与多样性, 因此, 本实验选取飞机发动机起火和飞机起落架起火进行仿真. 将火焰、烟雾的基本模型与飞机不同

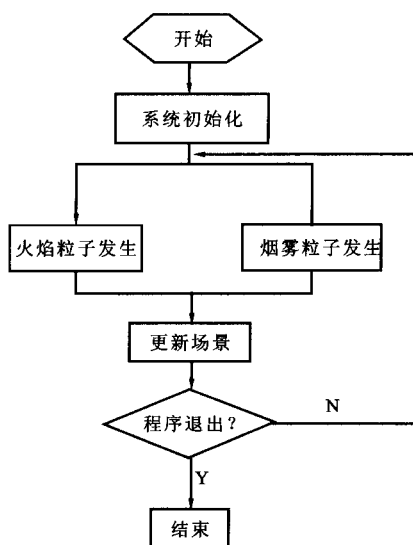


图3 主程序流程图

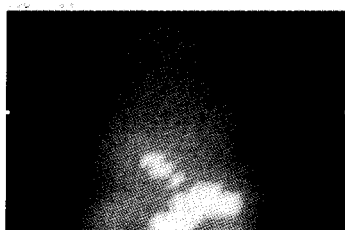


图4 火焰模型验证



图5 烟雾模型验证

部位有机的结合,在 VEGA 三维场景中实现仿真。具体仿真结果如图 6、图 7 所示。



图6 发动机起火仿真



图7 前起落架起火仿真

分别对火焰和烟雾进行了建模,深入研究了粒子系统作用的规律。通过火焰和烟雾与飞机不同起火部位的结合,在 VEGA 中实现了视景仿真,并保证了仿真的实时性和真实性。经过仿真实验验证,能够达到机场火灾场景模拟的要求,可以获得比较真实的仿真效果。

参考文献:

- [1] 王乘,李利军,周均清,等. Vega 实时三维视景仿真技术 [M]. 武汉:武汉科技大学出版社,2005.
- [2] 王乘,李利军,周均清,等. Creator 可视化仿真建模技术 [M]. 武汉:武汉科技大学出版社,2005.
- [3] Jin Yi, He Huacan, Lv Yangtian. Ternary Optical Computer Principle [J]. Science in China: Series F, 2003, 46 (2): 145-150.
- [4] 何炜,辜炜东,张历,等. Visual C++ . NET 2003 [M]. 北京:冶金工业出版社,2004.
- [5] Theodore J Rosenthal, Jeffrey P Chrstos, Bimal L Aponso. A driving simulator for testing the visibility and conspicuity of highway designs and traffic control device placement [R/CD]. TRB 2004 Annual Meeting CD-ROM. Washington DC, USA : National Research Council, 2004.
- [6] K C Barr, H Pan, M Zhang, et al. Accelerating multiprocessor simulation with a memory timestamp record [C]// Proceedings of the IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software, 2005. USA: IEEE, 2005: 66-77.

作者简介:

王立文 男, (1963-), 硕士研究生导师. 研究方向为飞行模拟机、机场设备自动化。

李洪帅 男, (1986-), 硕士研究生. 研究方向为飞行仿真的视景系统。

王浩 男, (1985-), 教师. 研究方向为飞行模拟机、数控加工。

7 结束语

机场火灾场景模拟是一个复杂的过程,仿真中