

基于 OpenGL 与粒子系统的喷泉模拟实现

汪继文, 郑 锋

(安徽大学 计算智能与信号处理教育部重点实验室, 安徽 合肥 230039)

摘 要: 喷泉效果能够极大地增强虚拟现实系统的沉浸感, 在计算机动画、计算机游戏等领域有着广泛的应用, 对喷泉的模拟也能够促进计算机仿真技术的发展。粒子系统是模拟喷泉的一种有效方法, 文中基于 OpenGL 与粒子系统来实现喷泉模拟, 基本思想是运用粒子系统建模方法分析喷泉水体模型, 重点研究喷泉水珠粒子产生、运动和消失的机理, 采用 OpenGL 显示列表方法和纹理映射技术增强喷泉绘制过程中的渲染和真实感。最后, 在 PC 机上运用 VC++6.0 开发工具和 OpenGL 实现喷泉模拟, 实验证明该方法具有很好的实时性和逼真性。

关键词: 粒子系统; 喷泉模拟; OpenGL

中图分类号: TP39

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2011)08-0161-04

Simulation and Realization of Fountain Based on OpenGL and Particle System

WANG Ji-wen, ZHENG Feng

(Key Lab. of Intelligent Computing & Signal Processing, Anhui University, Hefei 230039, China)

Abstract: The effect of fountain can greatly enhance the immersion characteristic of virtual reality system, it has been widely used in computer animation, computer game and so on, which can also promote the development of computer simulation technology. Particle system is an effective method in fountain simulation. To implement fountain simulation, a fountain simulation method based on OpenGL and particle system is proposed. The basic idea is that the fountain simulation is analysed based on particle system modeling. The mechanism of the bead producing, moving and dying out is focused on, OpenGL DisplayLists and texture mapping are used to enhance the romance and reality. Lastly, the fountain simulation is developed on PC platform by using Visual C++ 6.0 as the programming tools and OpenGL as support. The result of the simulation demonstrates that the method can achieve satisfied real time and reality.

Key words: particle system; fountain simulation; OpenGL

0 引言

在计算机图形学中,对自然景物的模拟一直以来都被人们公认为是最具挑战性的一个问题。主要原因是因为自然景物的表面的不规则性,很难进行把握。目前对诸如山、水、烟等不规则物体自然景物的模拟,已经成为计算机图形学当中颇为关注的焦点。

1983年,Reeves首次提出了粒子系统^[1]这个概念,并且使用它来模拟形状不规则的模糊物体。它是迄今为止被认为是模拟不规则模糊物体最为成功的一种图形生成算法^[2]。马骏等利用粒子系统,采用离线渲染的方法来模拟喷泉^[3]。由于粒子系统是一种过程模型^[4],所以即使复杂的系统也可以方便地建立起

合适的模型出来。基于粒子系统的这些优点,可以很方便地模拟一些不规则的模糊物体,例如,云、雨滴、雾、火焰、雪景等自然景物,以往的模拟方法由于不规则物体的表面比较复杂,所以模拟的实时效果不是很逼真,采用这种方法能够获得较好的实时性和逼真性。

由于粒子系统是一种过程模型,而且这种过程模型是随机的,也就是说采用粒子系统模拟的物体,其形状和形式都是可以变化的,物体并没有被完全确定下来。大多数过程模型是基于物理或生理的行为,并将几何建模和行为建模结合起来。几何建模主要涉及物体的几何和形状表示,包括物体的颜色、大小、位置等属性。而过程建模主要涉及物体的运动和行,包括物体的运动方程及受力情况等。粒子系统可以与任何描述物体运动和特征的模型结合起来。

1 粒子系统的基本原理

粒子系统的基本思想是把不规则的模糊物体用大

收稿日期:2010-12-20;修回日期:2011-03-26

基金项目:安徽省高校自然科学研究项目(090412045)

作者简介:汪继文(1958-),男,安徽宿松人,教授,博士后,博士生导师,研究方向为科学与工程计算与可视化;郑 锋,硕士研究生,研究方向为科学与工程计算与可视化。

量的、具有一定生命周期和属性的粒子进行绘制。基于粒子系统这个思想每个物体都具有共同的属性,如颜色、大小、形状、位置、透明度、速度、生命周期等。随着粒子的不断运动,按照所赋予的粒子动力学规律改变其状态。关心的只是物体的总体形状和特征的动态变化^[5]。随着时间的变化,粒子系统中的粒子都要经过产生、运动、消亡三个阶段。在这三个阶段中粒子的大小和形状随时间变化而变化,其他性质如粒子的透明度颜色和运动速度都将随机变化,从而充分体现出不规则物体的动态性和随机性。基于这三个阶段,因此粒子的初始属性以及其变化规律的确定就显得非常重要。每个粒子都在其生命周期内按一定的方式不断运动,其速度、位置、颜色、生命值等属性值也在不断地发生变化。

上面已经提到粒子系统中的粒子都具有一定的属性,如大小、位置、速度、颜色、透明度和生命周期等,然而一个粒子究竟具有哪些属性,主要还是看具体应用在哪些方面以及粒子系统相关的每个属性参数均被一个随机过程所控制,粒子系统的这一特性说明不规则物体具有动态性和随机性,基于这个特性,能够很好地模拟水、云、烟雾、喷泉和瀑布等不规则物体。

随着时间的推移,系统产生、移动、变化和删除粒子^[6]。为了更实时地绘制喷泉粒子系统中粒子的运动轨迹图形以及更方便地计算每一帧动画,以下基本步骤是不能缺少的:

- (1) 将新生成的粒子加入到粒子系统当中。
- (2) 为新生成的粒子赋予一定的属性。
- (3) 从喷泉粒子系统中删除那些超过所赋予的生命周期的粒子。
- (4) 活着的粒子(没有到生命终结期的粒子)都将按照所赋予的粒子动力学规律进行移动和变换。
- (5) 采用 OpenGL 显示列表方法和纹理映射技术来绘制和显示那些没有死亡的粒子即有生命的粒子。

2 喷泉的模拟

要想能够实时地模拟喷泉,首先就必须建立喷泉粒子模拟空间坐标系。假设观察着的视点位于屏幕正前方^[7],原点 O 的位置取喷泉发射器所在的位置,三维空间坐标系中 x 轴正向假设取沿从左至右的方向, y 轴正向取沿从下至上的方向, z 轴正向取沿从里向外的方向,如图 1 所示。

2.1 喷泉粒子的产生

喷泉粒子的产生包括设定新粒子的数量、大小、颜色、初始位置以及初始速度。喷泉水珠粒子数量的多少很关键,它决定了喷泉的密度,数量太少,喷泉容易失真;数量太多,会导致实验计算以及绘制的时间开销

增大,对喷泉模拟的实时性产生影响。系统中每个粒子的初始位置为 $(0,0,0)$,即喷泉发射器位于坐标原点,从发射器喷出的水珠粒子它们的初始速度和方向大体上都相同,以便在运动中能够实时地进行控制。同时还应该确保它们不能超过设定的喷射角度。此外,引入 xd 和 zd 分别表示 x 方向的增加值和 z 方向的增加值,通过这两个变量可以对喷泉进行实时的控制。引入 Type 这个属性表示喷泉粒子的运动状态以便把超过生命周期的粒子从系统中删除。为了准确描述喷泉运动轨迹,粒子的各个属性初始化如下:

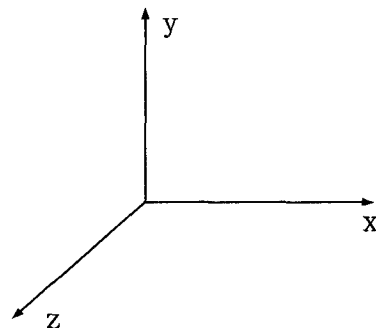


图 1 喷泉粒子模拟空间坐标系

$v = (\text{float})(\text{rand}() \% a) / b + c$ // 初始速度

$d = (\text{float})(\text{rand}() \% e) / f + g$ // 初始方向

$xd = \cos(\Pi * d / 180) * v / k$ // 粒子 x 方向增加值

$zd = \sin(\Pi * d / 180) * v$ // 粒子 z 方向增加值

Type = True // 运动状态为运动, FALSE 表示粒子淡化

Alpha = 1 // 粒子淡化

$H = 100$ // 粒子在空中所能上升的最大高度

其中 a, b, c, d, e, f, g 和 k 均为常量,由多次试验分析总结得出的经验值给出,rand() 是随机数产生函数,取值在 -1.0 和 1.0 之间。

2.2 喷泉粒子位置的更新

随着时间的变化,粒子的速度与位置都要更新^[8]。粒子当前时刻的位置主要由该粒子前一个时刻的位置以及前一个时刻的速度来决定,粒子变化过程当中遵从动力学原理,在三维空间中运动。假设粒子只受重力作用,设已知粒子在时刻 t_j 的位置为 $p_j(x_j, y_j, z_j)$,那么在 t_{j+1} 时刻,粒子在空间坐标系中的位置可以由下面三式来确定:

$$x_{j+1} = x_j + xd \quad (1)$$

$$y_{j+1} = -1/2 * g * t_{j+1}^2 + H \quad (2)$$

$$z_{j+1} = z_j + zd \quad (3)$$

粒子的高度值 y 随着时间的变化而变化,由于开口方向向下,因此由抛物线图形可以得出, y 随着时间 t 的变化先增加后减少,当粒子的运动时间 $t = 0$ 时, y 取最大值 H ,也就是刚开始初始化时所设的喷泉的最大高度。如果 $y > 0$,则为运动类型,否则 Type = False,同

时让 Alpha 值淡化消融。如果粒子的运动类型 Type = False 并且 Alpha 值小于等于零,则认为粒子已经死亡,把它从喷泉粒子系统当中删除。

2.3 喷泉粒子的消亡

在粒子系统中,粒子消亡的条件^[9]一般有两个:一个是粒子在初始化的时候都被赋予某一个生命周期,随着时间的不断变化,每经过一帧,生命周期就减少一定的值,当粒子的生命周期减少为 0 时,则认为粒子已经消亡。

另一个是随着粒子不断的运动,粒子的透明度和运动区域都会发生变化。当粒子运动到超过视线范围或者所关注的区域时,同时粒子的透明度也会低于一个特定值,这时认为粒子已经消亡。

文中所采用的是第二个条件。文中使用 Type 来表示所关心的区域,使用 Alpha 来表示粒子的透明度,当粒子满足第二个条件的时候,认为粒子已经消亡。同时,引入 ΔAlpha 来控制粒子在水平面消融的速度^[10]:

$$\text{Alpha} = \text{Alpha} - \Delta\text{Alpha} \quad (4)$$

在粒子初始化的时候,设定粒子的 Alpha 为 1,表示该粒子完全不透明也就是完全能够被看到且在屏幕上显示的颜色为粒子自身的颜色。随着粒子的不断运动,Alpha 值会不断减少,通过 ΔAlpha 可以控制粒子减少的速度,以便进行实时的模拟且逼真性较好。当 Type = False 且 Alpha = 0 时,表明该粒子已经消亡,则把它从喷泉粒子系统中删除。

2.4 喷泉的绘制

粒子系统的产生、运动和消亡都确定之后,就可以进行喷泉的绘制工作了。绘制喷泉通常采用下面的这幅图来进行绘制。它是模拟喷泉实现的一般的工作流程。

一般在绘制粒子的时候,都会使用 OpenGL 中的函数。文中使用 OpenGL 提供的三种函数来绘制粒子,分别为 $\text{glColor4f}()$ 、 $\text{glTexCoord2f}()$ 以及 $\text{glVertex3f}()$ 。第一个函数用来设置粒子的颜色,第二个函数用来设置当前纹理坐标,最后一个函数用来进行纹理映射,主要将水珠图片映射到使用的几何图元即矩形面片上,融合后形成所需要的喷泉水珠粒子。在绘制时可以充分利用 OpenGL 提供的顶点数组功能^[11],文中采用了 OpenGL 标准图形库中的四边形为基本绘制单位,再利用 OpenGL 纹理映射和色彩融合技术生成喷泉水珠粒子。为了模拟喷泉,首先构造一个模拟的地面,由于文中研究的重点是喷泉,所以对喷泉存在的场景只要做简单的构造就可以了。其次对喷泉的渲染处理过程主要是使用了 OpenGL 提供的两个函数 glEnable 和 glDisable 使喷泉粒子融合在一起。第一个函数

是启用混用,第二个函数是关闭混用。该过程主要包含两个方面,一方面是将喷泉模型渲染成纹理文件,另一方面是采用透明纹理渲染技术^[12]。上面提到,引入 ΔAlpha 来控制粒子在水平面消融的速度,这样做能够达到模拟喷泉水珠粒子晶莹透亮的真实效果。喷泉系统模型实现的工作流程见图 2。

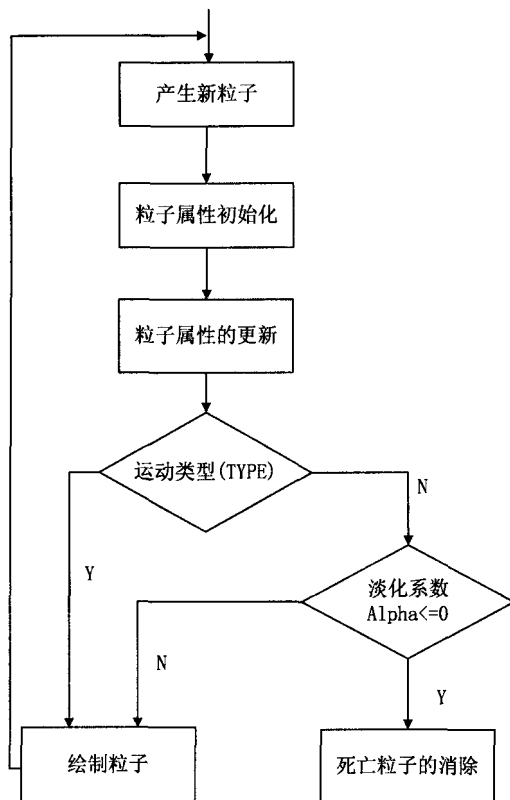


图2 喷泉系统模型实现的工作流程

喷泉的实现主要使用 MFC 并且在 VC++6.0 环境下完成,文中为了实现模拟,主要使用了两个类: CFountainView 和 CTexture,其中第一个类是主要的类,通过这个类来完成喷泉的模拟,主要使用来这个类中的两个函数,分别是 OnCreate 和 OnDraw,第一个函数主要是用来创建窗口并完成一些准备工作,第二个函数主要用来绘制喷泉。第二个类则用来进行纹理映射,通过这两个类可以顺利地模拟喷泉。

3 实验结果

基于上述思想,取原点作为喷泉的喷射点,按照前面提到的绘制方法,在 PC 机上运用 VC++6.0 开发工具和 OpenGL 实现喷泉的模拟,喷泉的效果显示如图 3 所示。

影响喷泉的模拟效果的因素主要是喷泉的股数、喷泉的喷射角度、矢量乘积(主要影响喷泉的粒子流粗细)、喷泉的初始位置等。通过改变这些因素,可以得到不同形状的喷泉,从而提高了喷泉模拟的真实感,如图 4、5 所示。

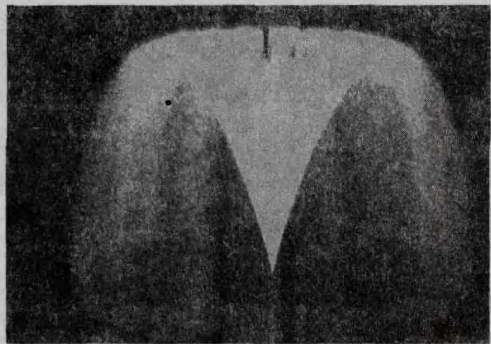


图 3 文中模拟喷泉的显示效果

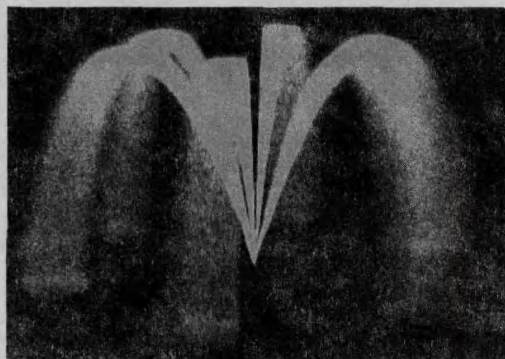


图 4 喷泉股数为六股的显示效果

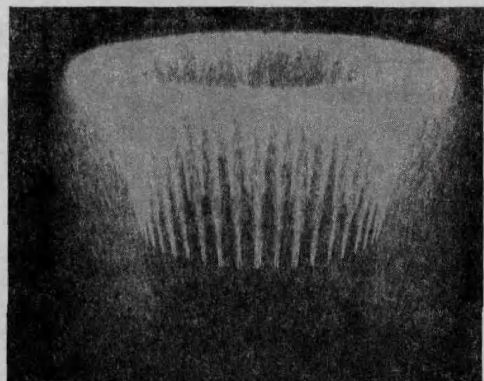


图 5 初始位置不在原点的显示效果

4 结束语

文中将纹理映射技术与粒子系统理论相结合,通过改变喷射角度、喷泉股数和矢量乘积等影响喷泉的真实感因素,从而对喷泉进行实时模拟。实验结果表明,该方法在实时性和逼真性方面取得了较好的效果。不过,文中只是从实时性、逼真性、简单性程度实现的一种模拟,由于不规则物体的表面很难把握,所以在喷

泉水珠粒子和地面接触处很难进行模拟,同时水粒子的真实感光照很难反应。通过改变喷泉股数、喷泉喷射角度以及喷泉的初始位置等因素可以观察到不同的喷泉的效果。在今后的工作中,将水粒子的真实感光照模型作为研究的重点,以及喷泉水滴落回水面与障碍物碰撞的效果,同时加入风力、阻力等因素,实现更加逼真的模拟效果。

参考文献:

- [1] Reeves W T, Lucasfilm. Particle Systems—A Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects[J]. ACM Transactions on Graphics, 1983, 2(2): 213–217.
- [2] Reeves W T. Particle System: A Technique for Modeling a Class of Flussy Object [C]//SIGGRAPH'83. [s. l.]: [s. n.], 1986: 359–376.
- [3] 马 骏, 朱衡君. 基于动态纹理和粒子系统的喷泉模拟[J]. 北方交通大学学报, 2005, 2(1): 90–94.
- [4] 和平鸽工作室. OpenGL 高级编程与可视化系统开发[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [5] 杨春雨. 基于粒子系统的喷泉动画模拟[D]. 长春: 吉林大学, 2008.
- [6] Witkin A. Physically Based Modeling Particle System Dynamics[EB/OL]. 2001. http://74.125.155.132/scholar?q=cache:sFtVvaEvBw8J:scholar.google.com/+An+Introduction+to+Physically+Based+Modeling:Particle+System+Dynamics&hl=zh-CN&as_sdt=0.
- [7] 蒋恒恒, 汤宝平, 章国稳. 基于 OpenGL 与粒子系统实现三维喷泉模拟[J]. 计算机测量与控制, 2009, 17(9): 1717–1723.
- [8] 魏开平, 朱晓华, 沈显君, 等. 基于纹理映射和粒子系统的三维喷泉实时模拟[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(11): 2586–2588.
- [9] 卫丽芬, 李仰军. 基于粒子系统的喷泉模拟实现[J]. 电子测试, 2010, 2(2): 23–26.
- [10] 肖 何, 何明耕, 白忠建. OpenGL 中基于粒子系统的喷泉模拟实现[J]. 计算机仿真, 2007, 24(12): 201–204.
- [11] 丁纪云, 陈利平, 李思昆. 基于 OpenGL 的烟花动态模拟方法的研究与实现[J]. 计算机工程, 2002, 28(4): 240–241.
- [12] 侯 阳, 迪 克. 三维图形动画编程实例[M]. 北京: 海洋出版社, 1993.

(上接第 160 页)

京: 清华大学出版社, 2009.

- [9] 陈伯时. 电力拖动自动控制系统[M]. 第 3 版. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [10] 张赵良. 基于 NIOSII 软核的移动机器人控制器的研究与实现[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2009.

- [11] Zhang Wanfeng. DSP implementation of predictive control strategy for power factor correction[J]. Apec, 2004(2): 67–73.
- [12] 陶永华. 新型 PID 控制及其应用[M]. 第 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2002.