

文章编号:1671-6833(2006)04-0111-05

一种新的基于粒子系统的火焰实时绘制方法

贾彦国, 张 伟, 唐 勇

(燕山大学信息科学与工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘 要: 针对经典粒子系统火焰模拟的真实性和实时性的关键问题, 给出了一种新的基于粒子系统的火焰绘制算法, 粒子属性的初始化由发射器确定, 并对粒子的颜色、位置、生存期等属性的更新进行了优化, 粒子的运动变化由低压点控制, 粒子由四角面片表示, 结合纹理映射技术进行三维火焰渲染, 纹理采用分时间段映射来模拟火焰的燃烧过程, 实验证明该算法模拟火焰的运动和外观效果真实, 在普通的 PC 平台上利用标准图形系统即可获得实时的绘制速度。

关键词: 虚拟现实; 不规则物体建模; 火焰模拟; 粒子系统; 纹理映射

中图分类号: TP 391.9

文献标识码: A

0 引言

虚拟现实, 是在计算机图形学、仿真技术、人一机交互技术、多媒体技术以及传感器技术的基础上发展起来的一门交叉技术, 是利用计算机生成一种现实世界的虚拟环境, 通过传感器使用户“投入”到该环境中, 实现用户与该环境进行自然交互的技术^[1]。随着计算机技术的飞速发展, 真实感图形在仿真、动画、计算机美术、科学可视化等领域的应用越来越广泛, 而且对真实感的要求也越来越高。由于几方面的原因, 直接实时绘制火焰效果是相当困难的。由于人们对火焰的理解的不完全性, 火的物理化学性质复杂; 火焰自身没有固定的几何外形特征, 不能够使用传统欧式几何建模方法; 火焰运动规律随时间变化难以预测。因此, 火焰不能用通常的三维建模方法来实现。针对火焰的以上特性, Reeves^[2]在 1983 年提出了粒子系统方法, 用以进行火焰等不规则物体的模拟。粒子系统具有能实时模拟不规则物体的优势, 使得其在模拟火焰方面得到广泛发展。Perry^[3]和 Picard 建立了一个增强的粒子系统, 即利用动态变化的几何体代替静态的基本图元和像元来实现粒子的实时绘制, 并且, 还在系统中加入了火焰蔓延效果模拟。Philippe^[4]模拟了火焰在三角形表面的传播过程, 通过采用一个火焰集合表示火, 每一个火焰即为一个可变形的顶点链条, 通过该骨架构

造出火焰的外形。Xiaoming Wei^[5]模拟了火焰在体数据表示的物体上蔓延的过程, 其传播基于距离场, 且燃烧对物体存在消耗, 其中基于 LBM 方法加入了风对火焰的作用。Iimonen^[6]在经典粒子系统的基础上提出了二阶粒子系统的概念, 通过统一粒子及影响粒子的力, 从而实现了火焰的旋涡等绘制效果。刘镪^[7]设计了粒子系统火焰模型, 对火焰的摇曳和浮力扩散采用随机模型, 实现了交互性火焰模拟。谢隽毅^[8]针对战场火焰的特殊效应, 实现了一个基于粒子系统的战场火焰模型。目前, 最为精确的模拟是 Nguyen^[9]的方法, 采用全 NS 方程来求解, 并考虑了燃烧过程。Lamorlette^[10]则更倾向于为动画师提供更为灵活的控制, 采用了非严格基于物理的方法, 基于粒子系统, 加上过程噪声和 Kolmogorov 湍流噪声来形成最终的火焰形状。Nguyen 和 Lamorlette 的方法都存在速度太慢的问题, 以致不能满足实时需要。

精确模拟火焰是非常困难的, 因为火焰本身是一个三维的流体动力系统, 精确模拟需要大量的计算, 这就导致不可能实时显示。所以, 作者在传统粒子系统理论的基础上, 提出了一种基于粒子系统的火焰绘制的新方法, 并非是基于物理燃烧的真正仿真, 而是从中吸取必要的燃烧机理, 在视觉效果上进行模拟, 算法力求简单、高效, 以满足实时显示的需要。

收稿日期: 2006-07-21; **修订日期:** 2006-09-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60474044); 河北省自然科学基金资助项目(F2006000267)

作者简介: 贾彦国(1971-), 男, 河北滦县人, 燕山大学副教授, 博士, 主要从事编码理论及虚拟现实技术方面的研究。

1 粒子系统基本原理

粒子系统方法是迄今为止用于描述不规则物体比较成功的方法之一,尤其是对于边界模糊的自然景物的模拟显示出其独特的优越性.粒子系统的基本思想是:采用大量的、具有一定生命和属性的微小粒子图元作为基本元素来描述不规则的模糊物体.在粒子系统中,每一个粒子图元均具有形状、大小、颜色、透明度、运动速度和运动方向、生命周期等属性,所有这些属性都是时间 t 的函数.随着虚拟世界时间的流逝,每个粒子都要在虚拟世界经历“产生”、“活动”和“消亡”三个阶段.

在计算机上利用粒子系统进行不规则物体模拟,每一帧都要进行以下的基本操作:①删除消亡粒子;②产生新的粒子;③为新生粒子设置初始属性;④移动系统中所有粒子,并改变它们的属性;⑤根据粒子属性进行渲染.一般而言,粒子的各种属性可以由不同的经验函数确定,并给予一定的随机分布特性.

2 火焰粒子系统模型

2.1 火焰粒子系统结构

火焰粒子系统由三部分组成:粒子、粒子发射器及发射器管理器.

$$PS=(E,P,M) \tag{1}$$

式中: E 是发射器; $P=\{p_1,p_2,p_3,\cdots,p_n\}$ 是大量粒子集合; M 为发射器管理器.发射器 E 表示为

$$E=V,f_{\text{RAND}}(),P_E) \tag{2}$$

式中: V 是发射器的位置; $f_{\text{RAND}}()$ 是一个返回 0 和 1 之间值的随机函数; $P_E=\{P_1,P_2,P_3,\cdots,P_m\}$ 是发射器中发射出的粒子的属性.粒子定义为

$$P_i=((p_i,x,p_i,y,p_i,z),PR_i) \tag{3}$$

其中, (p_i,x,p_i,y,p_i,z) 是粒子的位置坐标, $PR_i=\{p_i,P_1,p_i,P_2,\cdots,p_i,P_m\}$ 是该粒子的一系列属性,它确定了火焰粒子的初始属性,如生存期、初始颜色、初始速度、初始加速度等,这些属性的初值由发射器产生粒子时确定.粒子数量的定义很关键,它决定了火焰的密度和大小.粒子数量太小不能满足真实感要求,粒子数量过大则增加了系统的处理时间,从而不能满足实时性要求,粒子的初始数量由它的父发射器确定,为了模拟火焰的不同燃烧程度,对发射器的初始数量进行了时间分段设计,即发射器在不同时间段发射粒子数量不同,从而可以实现火焰在不同时间的火焰密度.

发射器管理器用一个动态表存储发射器来跟踪系统中的发射器.每个时间步内,当建立了一个新的发射器,将自动添加到动态表.发射器管理器也更新发射器的状态并移除系统中“死亡”的发射器,并管理适当的内存分配.一个具有这三个重要部分的粒子系统层次结构如图 1 所示.

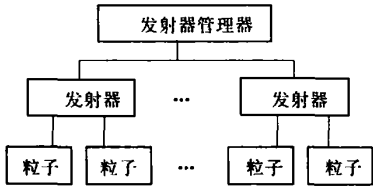


图 1 粒子系统层次

Fig.1 The hierarchy of particle system

火焰粒子由发射器发射出后,粒子的属性变化与发射器之间没有进一步联系,所有属性的变化由粒子的数据结构来实现.

2.2 更新火焰粒子

由于火焰燃烧过程中受风力、重力、浮力作用影响,其状态随时间的推移而不断的变化,因此需要不断更新其属性来实现火焰粒子的运动变化.

2.2.1 火焰粒子位置的变化

其中火焰粒子位置的变化由其速度确定,在一个给定时间 t ,粒子的新的位置由它的速度 $v(t)$ 、加速度 $a(t)$ 、时间增量 (Δt) 控制,为了计算粒子的下一个位置 $p(t+\Delta t)$,采用下面的公式

$$p(t+\Delta t)=p(t)+(v(t)*\Delta t) \tag{4}$$

$$v(t+\Delta t)=v(t)+a(t) \tag{5}$$

$$a(t+\Delta t)=(v(t)-v(t-\Delta t))/\Delta t \tag{6}$$

2.2.2 火焰粒子大小的变化

由发射器发射的粒子的类型可以是四边形、立方体、三角面片、球体等,粒子的类型决定了粒子系统的性能,在其它条件相同的情况下,表示一个粒子的顶点数越多,粒子系统的效率越低,为了提高系统的实时性,考虑到粒子的纹理映射,选择火焰粒子由四角面片表示,火焰粒子的大小决定了火焰的精细程度,在这里,火焰粒子面片的大小由用户根据要绘制的火焰的特性以及视点的远近来设定,例如大规模的火场或爆炸且视点较远可以使用较大的粒子表示,烛光或火把使用较小的粒子描述会比较真实.

2.2.3 由低压点控制的火焰粒子的运动变化

火焰运动的实质是受热气体的运动,当热的气体遇到周围冷的环境时,热气体的上升产生的热浮力导致其上面的冷空气被热气体推动,同时

因为气压的改变,冷空气冲进热气体下面进行补充,在热气体的两边,不同温度的气体碰到一起,拉力促使热气体速度变慢而冷气体速度加快.

为了模拟这种低压效果,在坐标轴上建立了一系列的随机点,来形成三维坐标空间中的一个坐标数组,用这些随机点来模拟空气流动形成的低压点.在每个时间步内,这些低压点随机的改变形成新的坐标数组.当粒子由发射器发射到系统中后,粒子逐步向离它最近的低压点上升运动.因此,这种上升运动就形成了真实火焰的顶部的尖点,初始时的低压点是固定的坐标点,然而这种效果不够真实,为了解决这个问题,设置一个特殊区域,使低压点可以在这个区域内随机运动.低压点运动的具体实现过程见图 2.

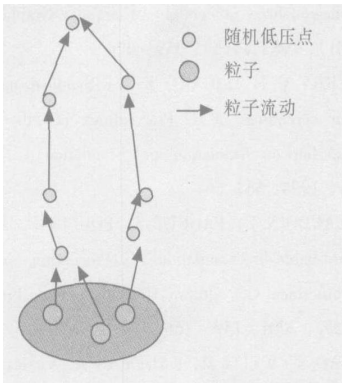


图 2 粒子向最近低向点运动图

Fig-2 Particles moved incrementally towards the nearest low pressure point

2.2.4 火焰粒子颜色的变化

粒子的颜色对火焰的外观具有重要的作用,为了尽量使模拟的火焰逼真,采集录像中的真实火焰颜色.通过观察可以发现,火焰燃烧的颜色取决于燃料的类型以及燃烧过程中使用的氧化剂.基于碳的燃料将产生橙色或者黄色的外观,而气态燃料将产生蓝色的外观.作者仅考虑基于碳的燃料的模拟,根据自然规律,火焰中心的温度较高,周围较低,粒子数量燃点中心粒子密集,边界稀疏,如果使用的粒子中以红色为主,带少量的绿色和蓝色成分,则火焰中心就会出现白色和黄色,从而使整个颜色分布大体呈现白—黄—红的变化.

2.2.5 生命周期控制

火焰的粒子生存期 $Life$ 决定了火焰燃烧的高度,生存期设置的越大火焰的高度就越大.粒子在系统中的实际生存时间由生存期和变量 Var_life 决定.粒子的生存期随着帧数的增加不断的变化,粒子在第 i 帧的生存期 $Life(i)$ 为

$$Life(i) = Life - Var_life \times Rand() \quad (10)$$

其中, $Rand()$ 是一个在 -1 到 $+1$ 随机变化的随机数, Var_life 是一个可以由用户定义的变量,所以每个粒子的实际生存时间是随机的,这样就形成了火焰随机跃动的现象.

火焰粒子的消亡有以下两种情况:一种是其生命到了尽头而自然熄灭;另一种是生命尚存在,但由于走出了屏幕边界而中途夭折.为了降低由于增删粒子而带来的大量的时间和空间消耗,采取了以下措施,当粒子系统中的某一个粒子死亡时,并不立即将其从内存中释放,而是用一个标志位来记录它是死亡还是重生(重新初始化),在整个粒子系统完成任务之后,将所有粒子所占用的存储空间同时释放.

3 火焰粒子渲染

3.1 纹理映射

纹理映射是增强真实感的简单有效的手段.本文为了满足实时性而又不损失真实性的要求,采用纹理映射技术,为每个粒子贴上纹理图,粒子的纹理可以由用户根据要绘制的火焰的特性来设定,通过创建一个纹理数组来定义不同类型的纹理,包括圆球纹理、星形纹理、水滴纹理、环形纹理等,通过用户选择不同的纹理来产生不同的火焰燃烧规模以及火焰的类型,例如对燃烧剧烈的火焰可以采用火星纹理,对烛火或火把可以采用水滴纹理.

为了模拟火焰在不同时间段的燃烧剧烈程度的不同,采用纹理的分时间段映射,即在不同时间段采用的纹理图像不同,按照一定的时间延迟动态改变.例如在火焰刚开始点燃情况下,火焰还比较柔和,采用圆形纹理进行映射,随着时间的推移,燃烧程度会变得剧烈,就切换到不规则的火星纹理,上述的纹理和时间段范围都可以由用户根据需要来设定.另外,系统中所使用的纹理也可以采用几张火焰连续变化的纹理图片作为纹理样本来进行映射.

3.2 特殊效果处理

经过反复实验可知,火焰除具有一般不规则模糊物体的随机性和动态性外,其特殊性是对色彩的模拟要求很高,因此为了优化火焰整个场景的效果,采用了融合技术,使用 OpenGL 的融合函数 $glBlendFunc(GL_SRC_ALPHA, GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA)$ 实现火焰与背景的融合.另外,为了表现火焰的不规则外形,对纹理加入了

Alpha 通道, 以便利用 OpenGL 中的 Alpha 测试函数 `glAlphaFunc (GL _CREATER, 0.9f)` 来绘制.

4 实验结果

上述算法在普通 PC 机 (CPU: AMD XP2200+, 内存: 256M), 基于 windows 平台, 开发工具及图形库为: VC6.0 + OpenGL 1.4; 实验表明: 所生成的动态火焰不但形态逼真、具有真实的视觉效果, 而且每秒至少可生成 30 帧画面, 达到了实时的要求. 模拟效果见图 3~图 5, 分别为采用不同的粒子纹理的火焰模拟效果.

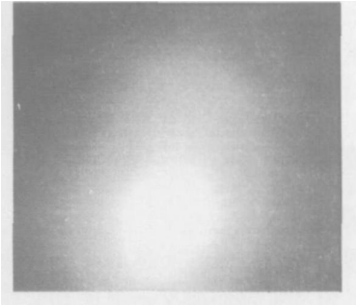


图 3 圆晕纹理火焰
Fig.3 Star texture fire

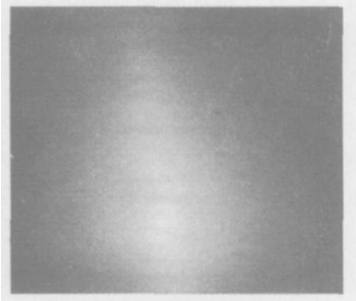


图 4 星晕纹理火焰
Fig.4 Star texture fire

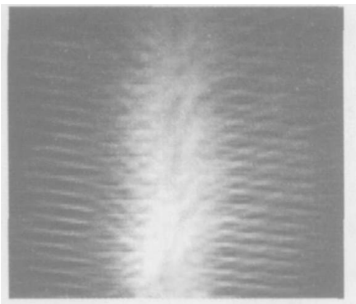


图 5 火花形纹理火焰
Fig.5 Spark texture fire

5 结论

设计了一种新的模拟火焰的粒子系统的结

构, 对粒子、发射器及管理进行了特定的设计, 火焰粒子的初始属性由发射器确定; 对粒子的位置、大小、运动、颜色、生存期等属性的变化进行了改进, 其中火焰粒子的运动由一系列随机低压点控制, 以增强整体效果的真实感; 结合纹理映射技术, 以一定的时间延迟动态更新纹理图像, 并对整体效果进行了特殊处理, 实现火焰的燃烧效果.

参考文献:

- [1] 周振红, 张君静, 陈峙峰, 等. “数字黄河”工程及其关键技术支持[J]. 郑州大学学报(工学版). 2003, 24(2): 59~62.
- [2] REEVES W T. Particle system—a technique for modeling a class of fuzzy objects[J]. Computer Graphics (S0730—0301). 1983, 17(3): 359~376.
- [3] PERRY C H, PICARD R W. Synthesizing flames and their spreading [A]. Proceedings of 5th Eurographics Workshop on Animation and Simulation [C]. Oslo Norway, 1994. 56~66.
- [4] BEAUDOIN P, PAQUET S, POULIN P. Realistic and controllable fire simulation[A]. Proceedings of the Graphics Interface [C]. Ottawa, Ontario, Canada Proc Vision Interface, 2001. 159~166.
- [5] ZHAO Y, WEI X M, KAUFMAN A. Voxels on fire[A]. Proceedings of IEEE Visualization, Seattle [C]. 2003. 271~279.
- [6] IIMONEN T, KONKANEN J. The second order particle system[J]. Journal of WSCG, 2003, 11(1): 1213~6972.
- [7] 唐 勇, 刘 镒, 吕梦雅. 火焰动态模拟[A]. 陶霖密, 徐光, 杨士强, 等. 第一届全国和谐人机环境联合学术会议的论文集[C]. 北京: 清华大学出版社, 2005, 259~262.
- [8] 谢隽毅, 张 芹, 吴慧中. 一个基于粒子系统的战场火焰模型及其实现[J]. 系统仿真学报. 2001, 13(5): 596~598.
- [9] NGUYEN D Q, FEDKIW R, JENSEN H W. Physically based modeling and animation of fire [J]. ACM Transactions on Graphics (S0730—0301), 2002, 21(3): 721~728.
- [10] LAMORLETTE A, FOSTER N. Structural modeling of flames for a production environment [J]. ACM Transactions on Graphics (S0730—0301), 2002, 21(3): 729~735.

A new Method to Simulate Fire Based on Particle System

JIA Yan—guo, ZHANG Wei, TANG Yong

(College of Information Science & Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: To solve the key problem of real time and reality in fire simulation based on particle system, a new fire model based on particle system was proposed in this paper. In this model, the attributes of particles are initialized by the emitter. In addition, the change of the attributes such as colour, position, lifetime were optimized, and the move of particles was controlled by low pressure points. The type of particles was squares. We used the texture mapping technology to improve the effect and efficiency of rendering, and the textures were changed according to the time interval to simulate the the actual combustion process. Experimental results show that our algorithm achieves real—time simulation to both the animation and appearance of fire in consumer PC platform.

Key words: modeling for irregular object; fire simulation; particle system; texture mapping

(上接第 57 页)

Study on Computing Method of Aggregate Effective Density and Asphalt Mixture's Volume Parameter

ZHANG Hong—chun¹, LI Xiao—zhong²

(1. College of Road, Changan University, Xi'an 710061, China; 2. Henan Provincial Communication Planning Surevry & Design Institue, zhengzhou 450052, China)

Abstract: Air void is key criterion in asphalt mixture design. Because of the absorption of aggregate to asphalt, theoretical maximum density of asphalt mixture can not be measured accurately. The accuracy of air void is affected accordingly. Using asphalt as medium, the new test method —asphalt immersing test method is put forward. Test results indicate that for modified asphalt mixture, using specification's method to calculate aggregate's effective density is irrational. At the same time, new method has the characteristic of small variability and little influence by individual factors. Theoretically, using new method, the true value of asphalt mixture theoretical maximum density can be obtained. In addition, continuous density gradation asphalt mixture's air void composition is analyzed. Finally, asphalt mixture sample's scientific measuring method of density and reasonable computing method of volume parameter is brought forward.

Key words: asphalt mixture; effective density of aggregate; theoretical maximum density; air void