

基于粒子系统的林火模拟

赵刚, 许国玉, 沈志峰

(哈尔滨工程大学机电工程学院, 哈尔滨 150001)

摘要: 粒子系统因其灵活性、适应性等特点, 被广泛应用在景物模拟中。该文介绍一种基于粒子系统在火焰模拟中的应用, 包括火焰粒子的初始化, 帧数以及粒子属性的相应变化, 体现粒子从产生、衰减到消亡的过程。为使火焰粒子更逼真, 对粒子进行渲染处理, 并简化公告板技术。实验结果表明, 该方法可形象反映出火焰的动态变化, 在普通微机上达到较好的仿真效果。

关键词: 粒子系统; 火焰模拟; 纹理映射; 虚拟现实

Forest Flame Simulation Based on Particle System

ZHAO Gang, XU Guo-yu, SHEN Zhi-feng

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001)

【Abstract】 Particle system has been widely used in modeling because of its flexibility and adaptability features. This paper introduces the application of particle system in the flame simulation, analyzes the general philosophy of particle system, introduces the initialization of flame particle, and the corresponding changes of the particle properties with the changing of frame, embodies the process in which the particles from beginning, attenuation to vanishing. In order to make flame particle more realistic. It exaggerates the particle, and simplifies the bulletin boards technology. Experiments show that this method can be used to reflect the dynamic change of flame vividly, and is simpler and easier to achieve better simulation results in an ordinary PC.

【Key words】 particle system; flame simulation; texture mapping; virtual reality

1 概述

火焰模拟是森林场景模拟中不可缺少的一部分, 能让观察者有身临其境的真实感。但由于火焰具有不规则的几何形状、颜色变化及不确定的动态变化等特性, 因此在计算机图形学领域, 如何建立火焰模型, 直观形象地进行火焰的模拟, 是研究人员探讨的重点之一。

文献[1]于1983年提出粒子系统为模糊物体建模的方法, 其基本思想是把模糊物体看作是由众多粒子组成的粒子团, 将粒子看作简单的点, 并忽略其间的相互作用。各粒子均有自己的属性, 如颜色、形状、大小、生存期、速度等, 系统在不同时刻的状态由粒子的动力学性质决定。粒子随时间的推移而不断地运动并改变状态。文献[2]于1989年用纹理映射构造了二维火焰的简单模型, 该模型将三维点转换为二维纹理图点, 其低温颜色取决于阴影模型的建模方法。文献[3]于1991年提出基于细胞自动机的火焰模型, 认为火焰等气体现象都是由简单的组元构成的。在文献[3]的火焰模型中, 用简单的初始值和简单的状态转换规则来描述火焰的动态变化, 每组细胞单元有3个状态变量, 即温度、燃料密度和气体流向, 通过改变细胞变量的初始值, 得到不同的图像。

本文阐述了火焰粒子的原理, 针对林火边界不规则曲线的特点, 在粒子初始位置的确定上提出一种新方法, 在火焰粒子的渲染上采用十字交叉贴图来代替传统的布告板技术, 从而达到简单易行、快速模拟的目的。

2 火焰粒子的基本原理

火焰粒子的基本方法是用大量具有生命属性的微小粒子作为基本元素来描述不规则物体。在粒子系统中, 每个粒子

都要经过产生、衰减、死亡3个阶段, 每个阶段各粒子的属性都随时间不断变化。根据粒子系统模拟不规则物体的步骤可分为:(1)在系统中产生新的粒子。(2)给每个新粒子赋予一定的初始属性。(3)把粒子根据运动规律及相关算法进行移动和更新, 并改变其属性。(4)删除系统中超过生存期或超出预定范围的粒子。(5)绘制剩余粒子。(6)随着系统的运行, 大量粒子消亡后, 转到步骤(1)。粒子系统流程如图1所示^[4]。

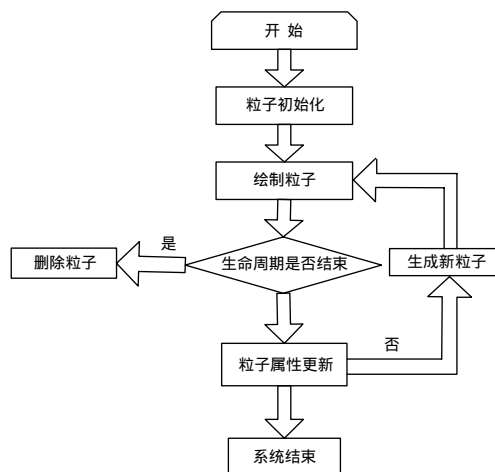


图1 粒子系统流程

基金项目: 科技部公益类专项基金资助项目(2004DIB3J101)

作者简介: 赵刚(1957-), 男, 教授, 主研方向: 智能化制造及技术, 系统仿真; 许国玉, 教授; 沈志峰, 硕士研究生

收稿日期: 2007-12-07 **E-mail:** shenzhifeng@yahoo.cn

2.1 火焰粒子的初始状态

火焰粒子的初始状态可包括初始位置、数量、大小、速度、生命期。

2.1.1 火焰粒子的初始位置

火焰粒子的初始位置由森林火场的边界决定，一般将火焰粒子的Z向初始坐标定为0，则粒子的x、y坐标必须满足落在森林火场给定的边界点组成范围内。假设简化处理用八边形代替边界不规则曲线，先求出组成多边形的8个顶点 $\{P1(x, y), P2(x, y), \dots, P8(x, y)\}$ 的最大值 x_{max}, y_{max} 和最小值 x_{min}, y_{min} 。由 $(x_{min}, y_{min}), (x_{min}, y_{max}), (x_{max}, y_{min}), (x_{max}, y_{max})$ 可组成一个包含八边形的最小正方形，然后取正方形内任意点通过循环语句判断求出落在多边形内的点，即火焰粒子初始坐标的取值集合，如图2所示。

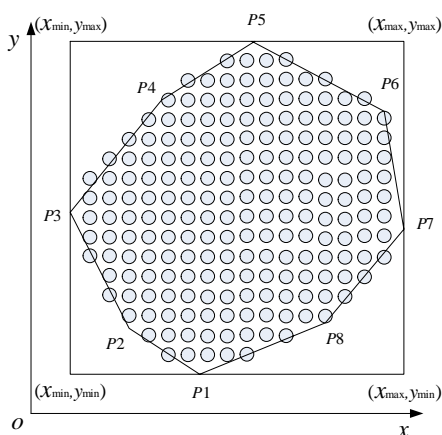


图2 火焰粒子的初始位置

2.1.2 火焰粒子的数量、速度、生命期

确定粒子的生成区域后，生成粒子的数量决定火焰的密度。数量太少，绘制的火焰失真；数量太多，影响绘制速度。因此，通常用如下方法来定义粒子数量：

$$NewNumber() = [AverageNumber + rand() \times VarNumber] \times Area/Size$$

其中， $rand()$ 是-1到+1之间的随机数； $AverageNumber$ 为屏幕上单位区域内产生的单位大小粒子数目的平均值； $VarNumber$ 为方差； $Area$ 为显示区域； $Size$ 为粒子大小。

同样，粒子的速度及生存期也可如下定义：

$$V_0 = V + Rand() \times VarV$$

$$L_0 = L + Rand() \times VarL$$

其中， V_0 为初始速度； V 为平均速度； $VarV$ 为速度方差； L_0 为生命期； L 为平均生命期； $VarL$ 为生命期方差。

2.1.3 火焰粒子的初始大小

由于粒子由四角面片渲染表示，因此粒子的大小取决于面片的大小，用户可根据要绘制的火的特性及视点的远近来设定面片的大小，例如渲染大规模的火场可用较大粒子，烛光或火把等可用较小粒子描述。

2.2 火焰粒子的运动变化

2.2.1 火焰粒子的位置变化

火焰粒子在当前时刻的空间位置 $P(x, y, z)$ 由前一时刻粒子位置 $P_0(x, y, z)$ ，速度 $V(x, y, z)$ 及每一帧时间间隔 t 决定，其关系表示如下：

$$P(x, y, z) = P_0(x, y, z) + V(x, y, z) \times t$$

2.2.2 火焰粒子的速度变化

粒子的速度 $V(x, y, z)$ 由初速度 $V_0(x, y, z)$ 、加速度 $a(x, y, z)$ 和每一帧的时间间隔 t 决定，而加速度则由粒子所受外力决定，其关系表示如下：

$$V(x, y, z) = V_0(x, y, z) + a(x, y, z) \times t$$

2.2.3 火焰粒子生命期的变化

粒子的生命期随帧数变化而不断变化，每过一帧粒子的生命期都要减去一个衰减值得 $fade$ ，衰减一般是用户自定义的衰减值得与随机函数结合的组合函数，因此，衰减值得不同，每个粒子的生命期也不同，从而形象地描绘出火焰的动态变化，实现火焰跳跃的效果。

3 火焰粒子的渲染和消亡

3.1 火焰粒子的渲染

为加强火焰粒子的真实感，通常对粒子进行渲染，常用方法是纹理映射和布告板技术。纹理映射是把 $(2^n \times 2^n)$ 的位图按规定的纹理坐标贴在多边形面片上，然后再进行融合处理，使面片透明化。

布告板技术(Billboard)指纹理贴图可随着视点的转动而相应转动，使贴图始终朝着观察者，也就是不论从哪个方向观察，都只能看到纹理的正面^[5]，其原理如图3所示。

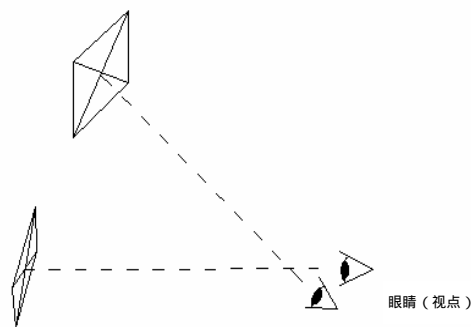


图3 Billboard 技术原理

由于布告板技术存在运算量大，程序运行缓慢等问题，因此可采用十字交叉的两个面片来简化，分别在两个固定交叉的面片上贴上相同的纹理图片，再对其进行融合处理。实验证明该方法算法简单，运算量小，而且在远景或大规模的火焰模拟中可取得良好的视觉效果，书馆十字交叉贴图法如图4所示。

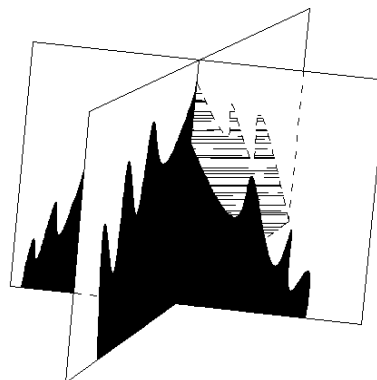


图4 书馆十字交叉贴图法

不同粒子密度下的实验效果如图5、图6所示。

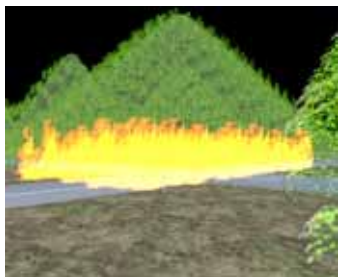


图5 粒子总数为 1 000 的火焰效果

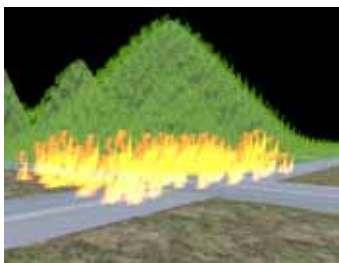


图6 粒子总数为 400 的火焰效果

3.2 火焰粒子的消亡

火焰粒子的消亡是粒子的生命期随帧数的增加而不断减少,最后粒子的生命期变成 0 或小于 0,就删除该粒子。

在经过一定时间后,当大量初始粒子被删除后,此时应及时生成新的粒子,并赋予其新的初始属性,以完成动态连续的火焰效果。

(上接第 248 页)

像旋转,如图 2 所示,本文方法引起的图像变形明显小于运用极坐标进行校正的方法。一般来说,非线性优化过程越少,校正速度越快,因此,可用非线性优化过程次数的多少来衡量图像校正速度。



(a)原图像对



(b)极坐标校正方法的校正结果



(c)本文校正方法的校正结果

图2 校正前后的图像对

5 结束语

本文提出了一种无需相机标定的图像对极线校正方法,通过分解并参数化描述极线变换矩阵,直接利用极线约束方

4 结束语

本文通过粒子系统对林火进行模拟,并在实验室微机(CPU: P4 1.8 GHz,内存: 512 MB)上进行实验,取得了良好的视觉效果。本文用十字交叉贴图代替布告板技术来近似模拟,达到算法简单、运算量小、运行速度快等目的。实验结果表明,该方法具有很好的灵活性、实时性及适应性,可应用在雨、雪等自然景观的模拟上。下一步研究的重点是火焰在受外力如风力等的影响下,如何建立变化模型,从而更实时、形象地模拟火焰状态。

参考文献

- [1] Reeves W T. Particle Systems--A Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects[J]. ACM Transactions on Graphics, 1983, (3): 91-108.
- [2] Inakage M. A Simple Model of Flames[C]//Proc.of Computer Graphics International Conference on the World. Berlin, Germany: [s. n.], 1991.
- [3] Agui T. Generating 2-dimensional Flame Images in Computer Graphics[J]. IEEE Trans. of the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers, 1991, 74(2): 184-189.
- [4] 王治刚, 陈和平, 刘心雄. 基于粒子系统和纹理映射的火焰模拟[J]. 工程图学学报, 2002, (4): 49-53.
- [5] 李建微, 陈崇成, 唐丽玉, 等. 基于粒子系统的林火实时绘制研究及实现[J]. 中国图象图形学报, 2005, 9(10): 1160-1165.

程和图像的对应点集建立误差平方和函数,并运用非线性最小二乘法求解,使得该函数取得最小值的变换参数。该方法简单易实现,对极线变换矩阵的分解达到了简化计算的目的,实验证明能够很好地消除垂直视差,且图像变形较小。

参考文献

- [1] Fusiello A, Trucco E, Verri A. A Compact Algorithm for Rectification of Stereo Pairs[J]. Machine Vision and Applications, 2000, 12(1): 16-22.
- [2] Fusiello A. Tutorial on Rectification of Stereo Images[Z]. (1998-09-08). <http://www.dai.ed.ac.uk/CVonline/>.
- [3] Isgro F, Trucco E. Projective Rectification Without Epipolar Geometry[C]//Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. [S. l.]: IEEE Press, 1999-06: 94-99.
- [4] Loop C, Zhang Zhengyou. Computing Rectifying Homographies for Stereo Vision[C]//Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition. [S. l.]: IEEE Press, 1999: 125-131.
- [5] 曾吉勇, 苏显渝. 一种无相机标定的立体图像对校正新方法[J]. 光学学报, 2004, 24(5): 628-632.
- [6] Oram D. Rectification for Any Epipolar Geometry[C]//Proc. of the 12th British Machine Vision Conference. Manchester, UK: [s. n.], 2001-09: 653-662.
- [7] Heyden A, Pollefeys M. Multi-view Geometry[M]//Medioni G, Kang S B. Emerging Topics in Computer Vision. [S. l.]: Prentice-Hall, 2004: 45-107.