

基于粒子系统的林火实时绘制研究及实现

李建微 陈崇成 唐丽玉 孙玮

(福州大学福建省空间信息工程研究中心、数据挖掘与信息共享教育部重点实验室,福州 350002)

摘要 为了满足林火图像实时绘制的需求,在总结近几年国内外对粒子系统的研究及对林火的认识的基础上,提出了一种适合大场景林火实时绘制的新型粒子系统模型。该模型对传统粒子的属性定义、基本粒子的运动及基本粒子的绘制等方面均做了补充和改进,并且采用硬件加速纹理技术提高了绘制的效果和效率,应用结果表明,该模型可以实时绘制出效果逼真的火焰图像,此模型所采用的技术也适用于其他不规则物体(如:烟、云等)的绘制。

关键词 粒子系统 森林大火 纹理合成 实时模拟

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2005)09-1161-05

Study and Implementation on Real-time Rendering of Forest-fire Based on Particles System

LI Jian-wei, CHEN Chong-cheng, TANG Li-yu, SUN Wei

(Spatial Information Research Center of Fujian, Key Laboratory of Data Mining & Information Sharing, Ministry of Education, Fuzhou University, Fuzhou 350002)

Abstract Based on research on the latest literature and the understanding to forest-fire home and abroad, we provide a new kind of model by particles system to real-time simulate and render the large-scale forest fire. In this model, we improve the traditional particle system in the attribute, the movement and the rendering method of individual particle. In addition, we use the hardware-accelerated texture technology to improve the effect and efficiency of rendering. Meanwhile, the technologies adopted in the model also can be applied to other fuzzy objects (such as smoke, cloud and so on).

Keywords particles system, forest fire, texture synthesis, real-time modeling

1 引言

在计算机图形学领域,如何建立恰当的火焰模型,以便生成具有真实感的火焰效果,一直是国内外学者探索和研究的问题。由于森林大火与普通的火焰模拟相比,具有范围大、行为不确定等特点,致使要实时模拟这种自然现象更加困难^[1]。

目前,火焰的模拟的方法主要可以分为基于粒子系统的模拟,基于物理模拟及基于纹理合成的模拟^[2] 3类。在早期的工作中,Perlin 和 Hoffert 采用

噪声函数来模拟 2 维和 3 维的火焰动画效果^[3],这种生成过程纹理的方法,虽然能产生逼真的、体现火焰不规则性的火焰图片,但不能描述火焰与环境的交互效果,也很难集成到 3 维场景中。Reeves 首先提出了粒子系统的理论,并将其成果应用于电影特效中^[4]。近几年,火焰模拟研究的重心是试图利用流体力学方程数值的方法来模拟火焰的运动及造型^[5-7]。然而,用此方法虽然根据火焰燃烧的物理、化学性质,能较真实地模拟火焰的运动及造型,但其求解非线性方程却要耗费大量的计算机系统资源,目前也只能达到几秒绘制一帧的速度,更别说实时

基金项目:国家重大基础研究计划“973”(2002CCC01900 和 2004CCA07200);福建省教育厅重点项目(K04003)

收稿日期:2004-12-06;改回日期:2005-03-25

第一作者简介:李建微(1979-),男。2002 年获福州大学资源与环境工程学士学位,现为福州大学福建省空间信息工程研究中心、数据挖掘与信息共享教育部重点实验室硕士研究生,发表论文近 10 篇。主要从事虚拟地理环境及数字城市等研究工作。E-mail: lwtticq@163.com

模拟(绘制速度大于 20f/s)。

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 和 Picard 建立了一个增强的粒子系统^[8],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。Beaudoin 在 Perry 和 Picard 建立的系统的基础上,又通过加入形体方程来模拟火的造型^[9],并提出了在多边形上实现火焰蔓延的算法。Lee 在构建模型中则考虑了风场和坡度等影响因子^[10],然后用传统的粒子系统方法实现了火焰在地形上的蔓延效果。King 构建了一种基于粒子系统的实时模拟系统^[11],在该系统中是用 textured splats 的方法绘制粒子,与传统的粒子系统相比,此法能大大减少绘制的粒子数,文中还定义了以下 3 种火焰运动:对象运动、全局运动及局部运动。Wei 用 textured splats 原理实现了火焰的绘制^[12],并利用 LBM (lattice boltzmann model)模型的线性和逻辑性的特征从而既增强了模拟火焰的物理性,又能达到实时绘制的要求。Brien 为绘制大场景粒子,提出了一种动态自动简化的粒子系统^[13]。Holtkamper 较系统地提出了用牛顿定理解释粒子运动的理论及和周围物体碰撞交互的理论^[2]。Iimonen 用一些特别的粒子作为力的来源^[14],由于此粒子能影响其他粒子的运动轨迹,从而实现了火焰的旋涡等绘制效果。在国内,张芹等在模型中通过引入结构化粒子及表现风力的随机过程来生成不同精细程度的火焰^[15];尹勇等用 billboard 技术^[16],以四边形作为基本粒子实现了雪和雨的实时模拟。

作者在传统粒子系统理论的基础上,通过深入研究上述各种改进方法和技术,提出了一种能在森林场景中,实时模拟林火蔓延的新型粒子系统模型。

2 林火粒子系统模型

2.1 基本粒子属性组成

根据具体的需求即可定义每个粒子的属性,其结构伪码如下:

```
typedef struct _Particle
```

```
{
    Vertex3f Position; //粒子的位置
    float Velocity; //粒子速度
    float Size; //粒子大小
```

```
float Energy; //粒子的能量
```

```
GLuint TexID; //初始纹理状态
```

```
} PARTICLE;
```

2.2 粒子初始化

本系统初始时刻的状态包括粒子的数量、位置、大小、速度、能量、纹理状态等。由于基本粒子绘制方法的不同,初始的粒子的属性也不同。

(1) 粒子的数量

与传统的粒子系统不同,本系统中的粒子数是确定的(原因见 2.4 节),并且不是通过显示区域来确定绘制粒子数,而是通过对粒子系统引入基于视点的 LOD(level of details)技术,再根据视点与火源的距离来动态减少绘制的粒子数,以提高绘制速度。

(2) 能量、纹理状态及粒子大小

设粒子的平均能量为 \bar{E} ,粒子的能量方差为 σ_E (下角 E 代表 energy),则任一粒子的初始能量由以下公式得出:

$$E_0(i) = \bar{E} + \text{Rand}(-1, 1) \times \sigma_E$$

式中 \bar{E} 与 σ_E 之和为 1, $\text{Rand}(-1, 1)$ 为 -1 到 1 之间的随机数,以下同。该粒子的能量用于决定此粒子的纹理状态和粒子大小。

(3) 位置与速度

一般林火的初始位置反映火焰粒子的分布及初始状态,其由燃点的位置和大小决定,但林火与其他火焰不同,其燃点中心的粒子密度随着时间的变化及燃料的燃尽而变得越来越稀,而边界则保持着稳定的粒子数,其火焰的整体呈椭圆状。

众所周知,火焰的速度是有大小和方向的矢量,而本系统中每个粒子的速度则都是在一定平均速度下的随机值。本文定义平均速度 \bar{V} 为 3 维向量,速度变化 ΔV 为 3 维向量,即

$$\bar{V} = \{\bar{V}_x, \bar{V}_y, \bar{V}_z\}$$

$$\Delta V = \{\Delta V_x, \Delta V_y, \Delta V_z\}$$

则粒子的初始速度为

$$V_0(i) = \bar{V} + \text{Rand}(-1, 1) \times \Delta V$$

若初始时粒子不受其他力作用,则粒子始终向上运动,即

$$\Delta V_x = 0, \Delta V_y = 0, \Delta V_z > 0$$

2.3 更新粒子

由于林火粒子的运动过程(燃点产生、上升燃烧、熄灭)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,因此需要更新的属性主要有位置、速度、能量、纹理状态、大小,其中位置的变

化由速度决定,具体实现可参考文献[2,15],粒子更新的流程如图 1 所示。

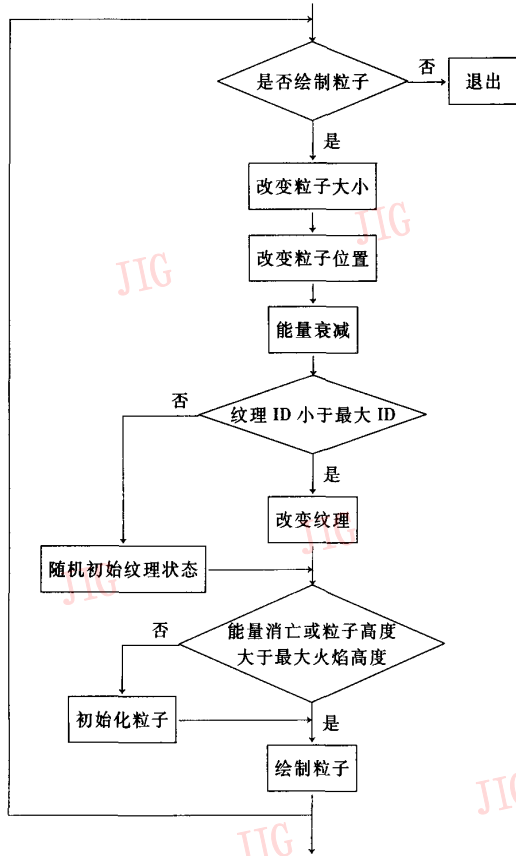


图 1 粒子更新流程图

Fig. 1 Flow chart of particles update

2.4 生命周期控制

从粒子的属性定义中可以看出,一个粒子的生命周期可以根据粒子的能量和火焰的最大高度共同确定。火焰粒子的消亡有以下两种情况:一种是能量到了尽头自动消亡;另一种是火焰的高度超过定义的火焰的最大高度而消亡。与传统的粒子系统处理消亡粒子不同,本系统中的所有粒子都是活粒子,即当粒子消亡的时候又给此粒子重新赋予能量,并初始化该粒子的其他属性,这样就可以减少因分配和释放内存而增加系统的负担^[17]。

3 林火粒子系统的运动

King 根据力的作用力不同将林火的运动分为^[11]局部运动、对象运动、全局运动。作者在这一

思想的基础上,根据具体的林火特征,实现了这 3 种运动,具体方法如下:

3.1 局部运动

局部运动是指由局部粒子之间相互作用产生的运动,如火焰的旋转、火舌等特效的模拟,在本系统中,作者用 32 张火焰连续变化的纹理图片作为纹理样本来进行映射(图 4),在每张纹理图片内部都体现了这些火焰现象。

3.2 对象运动

对象运动是指因粒子本身形态变化而产生的一种运动。这种运动主要反映的是火焰在燃烧过程中由于能量衰落而产生的一种现象。本模型是采用动态改变粒子的大小、对四边形进行左右偏移、变形及改变四边形的长宽比来实现(如图版 I 图 1 所示)。采用这种方法就可以用有限的纹理产生成千上万的火焰状态。

3.3 全局运动

全局运动被定义为粒子在一定的风力及重力作用下的整体运动。和其粒子系统一样,具体如何引入经典牛顿定理可参考文献[2,15]。

4 基本粒子的绘制

4.1 布告版绘制

传统的粒子系统一般是采用基本的图元和像元作为粒子,由于用此法模拟需要耗费大量的粒子,故不适合大场景的模拟。改进的粒子系统采用布告版(Billboard 技术)由于能大量减少粒子数,从而可减少绘制粒子系统资源的占用^[16,17],其原理如图 2 所示,即在观察者运动中,就可以计算出相机到物体(指:在同一平面的多边形,如三角形、四边形等)的向量 S 及竖直方向的向量 N ,通过叉乘($S \times N$)就可以得出右向量 R (物体的),根据竖直向量 N 和右向量 R ,就可以确定物体所在的平面,再根据粒子位置就可以计算出四边形的 4 个顶点 P_1, P_2, P_3, P_4 (见图 2(b))。由于此四边形在场景漫游时,始终面对着观察者,从而就可以用一个四边形(两个三角形)来代替 3 维物体。

4.2 纹理合成

根据文献[12]介绍的方法,可以将纹理合成技术生成的具有过程性的纹理映射到由 Billboard 技术产生的多边形上(见图版 I 图 2),此纹理可以由现实中拍摄的连续变化的 2 维纹理(见图版 I

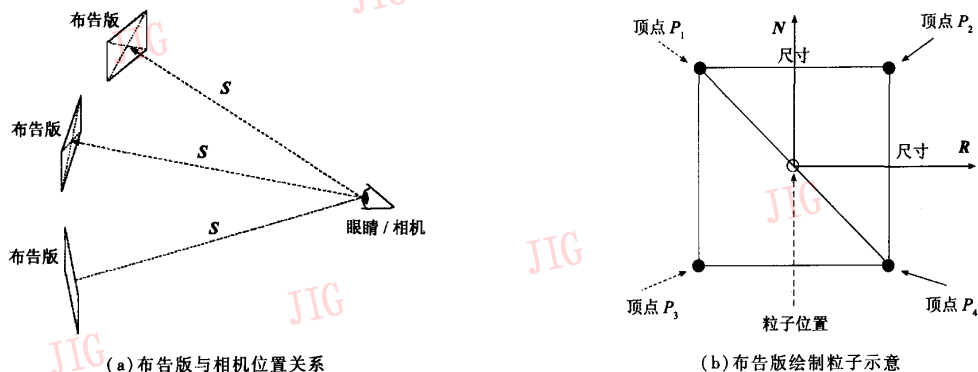


图 2 布告版绘制粒子示意图

Fig.2 Sketch map of particles by Billboard

图 2(a)也可以用噪声函数产生具有湍流细节的 2 维或 3 维纹理(见图版 I 图 2(b))(texture splats 技术)。本系统中运用的纹理是连续变化的 2 维图片。这些图片采用 DDS(directD-raw surface)格式,由于具有基于硬件加速的 MIP mapping、反走样、位线性纹理滤波等功能,能提高绘制的效果和效率。

4.3 融合

由于在场景中,用规则的四边形不能体现火焰的不规则的外形,为此可对纹理加 Alpha 通道(见图版 I 图 2),以便利用 OpenGL 中的 Alpha 测试函数 glAlphaFunc(GL_GREATER, 0.9f)来绘制用规则的四边形表示的不规则物体,并且可用 glBlendFunc(GL_SRC_ALPHA, GL_ONE_MINUS_SRC_ALPHA)方法来实现火焰与森林背景的融合。

5 应用及结果展示

本系统测试采用的 PC 配置为:Pentium 4 处理器,512 内存、NVIDIA 的 GeForce FX 5600 Ultra 显卡适配器;开发工具及图形库为:VC6.0 + OpenGL v1.4;模拟绘制过程达到实时绘制的要求(帧率大于 25f/s),绘制的林火图像如图版 I 图 3 所示。

6 结论与展望

本文在总结近几年国内外对粒子系统进行研究的基础上,结合森林大火本身的固有特性,提出了一种针对大场景实时绘制的粒子系统模型,并给出其实现步骤。本模型与其他模型不同点有:

(1)优化了粒子属性定义;

(2)采用 Texture Splats 技术代替基本图元来呈现粒子绘制;

(3)根据林火的特点,设计了林火的 3 种运动方式;

(4)实现了粒子系统对大场景的实时绘制;

(5)所采用的纹理具有硬件加速的功能等。

实验表明,该模型不但能绘制出林火的逼真效果,而且也适用于其他系统中的不规则物体的绘制(如:云、烟等),但由于此法模拟的林火关心的只是真实感图形生成,而未考虑林火蔓延机理及其燃烧过程的物化性质,因此今后的研究重心应放在如何提高模拟的真实性上。

参考文献(References)

- 1 Tang Xiao-yan, Meng Xian-yu, Yi Hao-ruo. Review and prospect of researches on forest fire spreading models and simulating method[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2002, 24(1):87~91. [唐晓燕,孟宪宇,易浩若.林火蔓延模型及蔓延模拟的研究进展[J].北京林业大学学报,2002,24(1):87~91.]
- 2 Holtkamper T. Real-time gaseous phenomena-phenomenological approach to interactive smoke and steam[A]. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Graphics, Virtual Reality, Visualization and Interaction in Africa [C], Cape Town, South Africa, 2003: 25~30.
- 3 Perlin K. An image synthesizer [J]. Computer Graphics, 1985, 19(3): 287~296.
- 4 Reeves W T. Particle systems—a technique for modeling a class of fuzzy objects[J]. Computer Graphics, 1983, 17(3): 359~376.
- 5 Nguyen D Q, Fedkiw R P, Jensen H W. Physically based modeling and animation of fire[J]. ACM Transactions on Graphics, 2002, 21(3):721~728.
- 6 Feldman B E, O'Brien J F, Arkan O. Animating Suspended Particle Explosions[A]. In: Proceedings of ACM SIGGRAPH [C],

- San Diego, California, USA, 2003: 708 ~ 715.
- 7 Rasmussen N, Nguyen D, Geiger W, *et al.* Smoke simulation for large scale phenomena [A]. In: Proceedings of ACM SIGGRAPH [C], San Diego, California, USA, 2003: 703 ~ 707.
 - 8 Perry C H, Picard R W. Synthesizing flames and their spreading [A]. In: Proceedings of 5th. Eurographics Workshop on Animation and Simulation [C], Oslo, Norway, 1994: 56 ~ 66.
 - 9 Beaudoin P, Paquet S, Poulin P. Realistic and Controllable Fire Simulation [A]. In: Proceedings of Graphics Interface [C], Ottawa, Ontario, Canada, 2001: 159 ~ 166.
 - 10 Lee H, Kim L, Meyer M, *et al.* Meshes on fire [A]. EuroGraphics Workshop on Animation [C], Manchester, UK, 2001: 75 ~ 84.
 - 11 King S A, Crawfis R A, Reid W. Fast animation of amorphous and gaseous phenomena [A]. In: Proceedings of Volume Graphics '99 [C], Swansea, Wales, 1999: 333 ~ 346.
 - 12 Wei X, Li W, Mueller K, *et al.* Simulating fire with texture splats [A]. In: Proceedings of 13th IEEE Visualization 2002 Conference [C], Boston, MA, USA, 2002: 227 ~ 234.
 - 13 O'Brien D, Fisher S, Lin MC. Automatic simplification of particle system dynamics [A]. In: The Fourteenth Conference on Computer Animation [C], Seoul, Korea, 2001: 210 ~ 257.
 - 14 Ilmonen T, Kontkanen J. The second order particle system [J]. Journal of WSCG, 2003, 11(1): 1213 ~ 6972.
 - 15 Zhang Qin, Wu Hui-zhong, Xie Jun-yi, *et al.* Study of particle system based flame modeling and realization [J]. Journal of Computer-aided Design & Computer, 2001, 13(1): 78 ~ 82. [张芹, 吴慧中, 谢隽毅等. 基于粒子系统的火焰模型及其生成方法研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(1): 78 ~ 82.]
 - 16 Yin Yong, Jin Yi-cheng, Ren Hong-xiang, *et al.* Real-time simulation of natural phenomena [J]. Journal of System Simulation, 2002, 14(9): 1217 ~ 1219. [尹勇, 金一丞, 任鸿翔等. 自然现象的实时仿真[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(9): 1217 ~ 1219.]
 - 17 Burg J V D. Building an advanced particle system [EB/OL]. <http://www.mysticgd.com/misc/advancedparticlesystems.pdf>, 2000: 44 ~ 50.

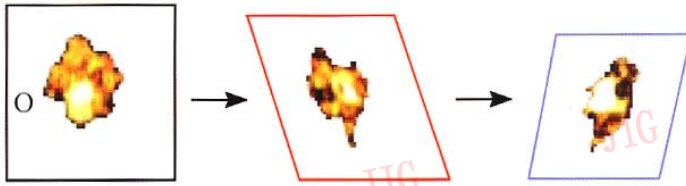
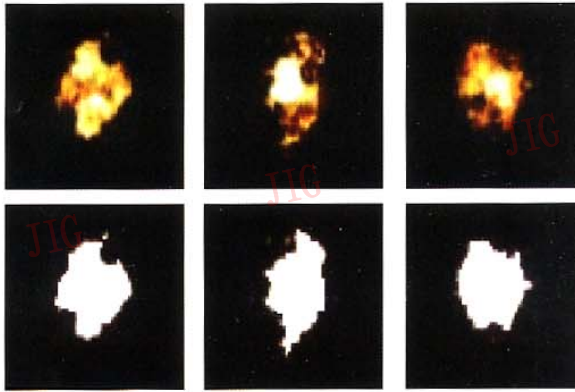


图1 林火对象运动示意图

Fig.1 Sketch map of moving by forest-fire object



(a) 带Alpha通道的林火图像连续变化的纹理



(b) 用噪声方程产生的林火图像纹理

图2 林火图像纹理合成

Fig.2 Synthetic texture of forest-fire image



(a) 林火模拟效果



(b) 场景中的林火模拟效果

图3 模拟绘制的林火图像

Fig.3 Forest-fire simulating result show