

计算机生成卡通烟雾动画

于金辉 徐晓刚 彭群生

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室 杭州 310027)

摘要 本文给出一个用于二维计算机动画烟雾的模型。这里着重强调的是用计算机生成卡通风格的烟雾效果。我们首先介绍如何从手工绘制的卡通烟雾画面中提取烟雾骨架的静态结构与动态结构,然后沿骨架进行不同的形状绘制来生成卡通烟缕和烟团。通过引进随机分量控制,本模型可以自动生成无重复机械感的并与卡通风格一致的烟雾序列画面。

关键词 烟雾模型,卡通动画,计算机动画。

分类号: TP391

1 引言

在卡通动画中不仅要表现人物和动物等角色,这些角色还需放在一定的环境中。烟雾、火焰等效果是我们日常环境的一部分,它们的表现对增添动画的真实感、烘托气氛等都有重要的作用。由于卡通烟雾、火焰在形态以及运动方式上有别于卡通人物,所以动画绘制人员要特别掌握表现它们的方法。在高质量卡通动画绘制过程中,一般需要雇佣受过高级专门训练的人员来完成这些效果的绘制,相应地也就增加了制作成本。如果资金受到限制,动画绘制人员一般先画出一段短动画,然后以它作为一个周期并重复使用来达到所要求的长度,因此,最后的动画效果看起来有较强的机械感。

在过去十几年中,计算机图形研究人员提出许多表现火焰和烟雾的方法,如 Reeves 通过粒子系统模拟火焰[10]; Perlin 利用湍流函数生成太阳冕[9]; MIRALab 用同样的方法设计出一个更通用的火焰函数模型[14]; Inakage 根据一个物理的燃烧模型成功地再现蜡烛火焰[5]; Ohshinma 和 Itahashi [8] 给出一个基于二维分形纹理和其它处理技术来生成篝火的方法; Augui, Kohno 和 Nakajima [1] 提出用蜂窝状自动装置(cellular automata)按简单准则进行状态转换来模拟酒精灯的焰苗; Gardne 用分形椭圆为火焰建模[3]; Sakas 提出基于湍流频谱理论模拟湍流气体的方法[11][12]; Nishit 等给出一个生成烟雾静止图像的显示方法[6][7]; Chiba 等通过湍流可视化模拟二维火焰和烟雾[2]; Stam 和 Fiume 用扩散过程表现火和其它气体现象[13]。Foster 和 Metaxas 通过求解气体运动方程来模拟热气与物体相遇的情况[16]。上述工作都致力于表现这些效果的真实感,而对传统手工绘制的卡通火焰和烟雾建模问题在相当长的时间里几乎无人涉及,其困难主要在于以下两点:

(1) 传统的计算机辅助制作卡通动画系统主要采用关键画面(Keyframe)插值方法,它要求两个被插值关键画面中物体各个部分建立一一对应关系。由于火焰和烟雾的运动具有随机成分,破坏了动画相邻画面间的对应关系,所以关键画面插值方法在这种情况下完全失效。

(2) 卡通火焰、烟雾是手工绘制的具有艺术风格的二维画面,它们难以用 Reeves 提出的粒子系统表示,我们亦无法利用物理知识如燃烧理论、湍流理论等对其建立模型。

尽管如此,由于卡通火焰、烟雾是动画家对自然现象的艺术再现,所以它们的运动仍有规律可循,这为我们用计算机建模自动生成这些效果提供了可能。实际上动画家在表现某个卡通效果的时候对该物体的空间结构和运动方式等已有一定的知识,然后把把这些知识转化成一系列二维画面上的视觉符号(不同的视觉符号构成不同的艺术风格),这些符号在不同画面中的变化与我们直觉中它们应该如何变化保持一致。在此准则下,动画家可以画出正确的动画序列。由于绘画过程在时间上是顺序进行的,我们可以把它分解为若干绘画步骤,在每一步动画家一般倾向于画出某物体中具有相同特征的部分,

本文受到曹光彪高科技发展基金(U19912)及浙江省留学回国基金(G50091)资助。于金辉,男,1960年生,博士,副教授,研究方向为计算机动画与计算机美术。徐晓刚,男,1967年生,博士后,讲师,研究方向包括CAD,系统仿真,图象图形处理。彭群生,男,1947年生,博士,教授,博士生导师,目前主要研究领域:虚拟现实,计算机动画,可视化,工程图纸扫描识别,几何造型等。

结果该物体的结构信息通过这些绘画步骤反映出来：物体的静态结构(即物体不同部分的空间关系)体现在一幅画面内，物体的动态结构(物体不同部分如何随时间变化)体现在多个画面内。利用前者我们可以用计算机重建所绘物体的结构，利用后者我们可以对物体的不同部分进行动态自动控制。

基于上述思想，我们成功地建立了一个具有卡通风格的火焰模型[15]。由于卡通烟雾在形态上以及运动方式上都不同于卡通火焰，所以我们需要根据手工绘制的卡通烟雾进行分析并提取它的静态结构与动态结构，然后在此基础上构造一个计算机卡通烟雾模型。

在本文中我们将给出建立这样一个模型的具体方法。首先我们将介绍如何从手工绘制的卡通烟雾画面中提取骨架，然后在该骨架上设计不同的形状绘制模型以生成不同的烟雾效果如烟缕和烟团。同时我们在文中给出相应的图例。

2 计算机卡通烟雾模型

我们的模型在结构上可以简略地表示如下：



下面我们对它们逐一进行详细介绍。

3 从手工绘制卡通烟雾画面提取骨架

在传统手工绘制动画中，烟雾可以有多种表现方法，但主要的问题是如何设计一个重复序列使其看起来没有过分机械的感觉。图 1 给出手工绘制的卡通烟雾画面[4]，其中的(C)可以用来表现在安静环境中的一缕轻烟(我们在模型中称为烟缕)，而(D)则用来表现滚滚浓烟(我们在模型中称为烟团)，某个烟团可以独立保留，也可以与其它烟团合并形成不规则的烟柱。从图中我们看到二者均以类似正弦波的形状作为轨迹向上运动，同时其幅度和频率也随之增加，因此我们用如下数学表达式来建立波状骨架：

$$Sklt(u,t) = Am(u) \cdot \sin[a(t) + w(u)] \quad (1)$$

这里 $Sklt(u,t)$ 是骨架上某一点， u 为一空间变量， t 是时间。 $Am(u)$ 是骨架幅度， $w(u)$ 是角频率。二者均

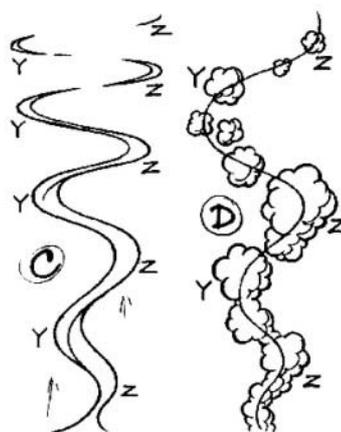


图 1 手工绘制的卡通烟雾画面

为 u 的线性函数并确定骨架在时间 t 时的形状。 $a(t)$ 代表相位，是时间 t 的线性函数并控制骨架的动态，当 t 增加时，骨架以波状向上方摆动，如图 2 所示。

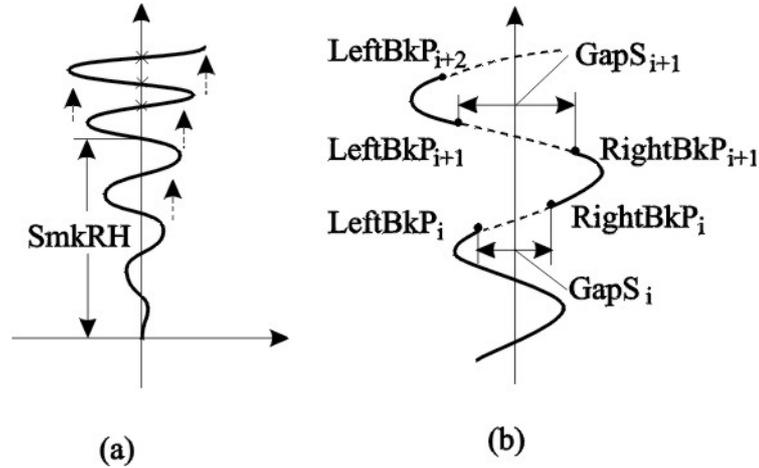


图 2 烟雾骨架

4 形状绘制

4.1 烟缕

由图 1(C)可见烟缕的外貌特征是宽度逐渐变窄,然后它分解成若干小段并在空气中逐渐消失。据此,在模型中我们用下列步骤对烟缕进行形状绘制:

- (1) 检测骨架上分裂点位置,如图 2(a)中各“x”所示。从图中可见这些分裂点位于骨架与竖轴相交处并且在某一参考高度 $RefH$ 之上(该高度可根据动画场景要求设置)。由这两个条件我们可以得出这些分裂点的位置并把它们放入数组 $BrkP_i$, ($i=1, \dots, BrkN$), 这里 $BrkN$ 是被检测出分裂点的数目。
- (2) 确定相应这些点缺口的大小,如图 2 (b)所示。从图中我们看到对应各分裂点的缺口沿竖轴方向越来越宽,所以在模型中我们定义各缺口的大小 $GapS_i$ ($i=1, \dots, BrkN$) 为骨架幅度 $Am(u)$ 以及当前分裂点 $BrkP_i$ 位置与参考高度 $RefH$ 之差的函数, 即

$$GapS_i = Cw \cdot Am(u) \cdot (BrkP_i - RefH), \quad i = 1, \dots, BrkN. \quad (2)$$

这里 Cw 是用来调整 $GapS_i$ 大小的系数并通过实验来确定。

- (3) 确定缺口端点位置。利用 $CapS_i$ 我们能够非常容易地计算出对应分裂点 $BrkP_i$ 处缺口的两端点位置 $LeftBP_i$ 与 $RightBP_i$ 。
- (4) 绘制烟缕各段形状。烟缕形状绘制分成两个阶段进行。为了模拟烟缕逐渐变细,我们首先用如图 3(a)所示的线性函数 $W(u)$ 来控制骨架上烟缕宽度,然后用图 3(b)的正弦加权函数与分开的烟缕各段(如 $RightBkP_i$ 到 $RightBkP_{i+1}$ 之间、 $LeftBkP_i$ 到 $LeftBkP_{i+1}$ 之间)宽度相乘而获得它们最终的形状。

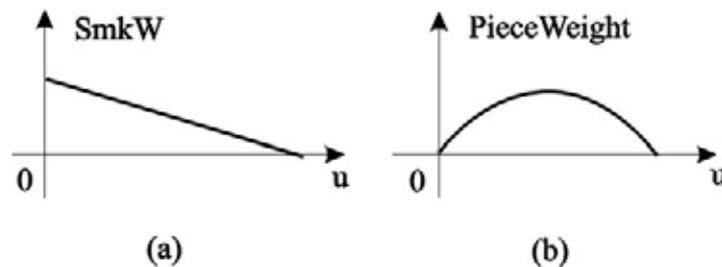


图 3 烟缕形状绘制函数

- (5) 对烟缕各段着色。我们在模型中用淡灰表现烟缕的颜色。考虑到烟缕的底部是最热的,我们

选用背景颜色来模拟烟缕底部的透明效果，然后对背景颜色和淡灰色进行插值使烟缕底部由透明渐变淡灰色，最终视觉效果令人满意。

4.2 烟团

在图 1 (D)中每个烟团呈现类似梅花瓣的形状，因此我们用半径为 R_b 的基圆作为烟团骨架，然后再用一些短弧线围绕骨架基圆描绘出烟团，如图 4 所示，其中各短弧的位置、大小在一定范围内随机变化。

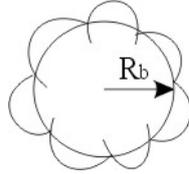


图 4 单个烟团骨架及其轮廓

在图 1(D)我们还看到烟团在底部画得浓密一些，顶部稀疏一些，烟团大小沿骨架上升由小变大，再由大变小并具有一定的随机性(同烟缕一样，也是为了表现烟团在空气中消散的过程)，因此在模型中我们用图 3(a)和(b)所示函数作为确定性分量再加适当随机扰动来分别控制烟团沿骨架分布的数量和烟团骨架半径 R_b 。

烟团一般用来表现浓烈的烟雾效果，我们在颜色表中设置一灰色系列和棕色系列，然后随机地从中选择颜色对各个圆弧内着色以强调视觉效果。

归纳起来，烟团可由如下步骤生成：

- (1) 指定烟团在骨架上的空间分布函数；
- (2) 用带有确定性分量的随机过程确定基圆骨架的数量和大小；
- (3) 对每个基圆用带有确定性分量的随机过程确定围绕它的短弧数量和大小；
- (4) 用带有确定性分量的随机过程确定各烟团的位置；
- (5) 在上述位置画出相应的烟团形状并着色。

5 图例

图 4 和图 5 分别给出从我们模型生成的烟缕和烟团动画中提取出来的两个画面。我们可以看到它们与手工绘制的卡通烟雾画面之间的吻合性是很好的。实时放映二者的动画结果表明我们模型的动态控制也是正确的。



图 4 计算机生成的卡通烟缕



图 5 计算机生成的卡通烟团

6 结束语

在本文中我们给出一个自动生成卡通烟缕和烟团的计算机模型。该模型具有简单的等级结构，在实际应用中我们只需在模型的骨架层次上进行控制以满足不同的动画场景设计需要，比如通过设计一个简单的骨架曲线并用它带动模型的其余部分来生成行驶中的蒸汽机火车头或轮船烟囱冒烟等效果。值得一提的是本模型虽然是为再现卡通烟雾而设计的，但在实际应用中它并不只限于此。我们可以用烟缕模型来表示杯子中热茶冒出来的蒸汽，也可用烟团模型来表现卡通尘雾团等等。

参考文献

1. T. Agui, Y. Kohno and M. Nakajima, Generating 2-dimensional flame images in computer graphics, Trans. IECE of Japan, vol. 2, 1991, 184-189
2. N. Chiba, K. Muraoka, H. Takahashi and M. Miura, Two dimensional visual simulation of flames, smoke and the spread of fire, Visualization and Computer Animation, vol 5, 1994, 37-53
3. G. Gardner, Fractal ellipsoid fire, SIGGRAPH Video Review, vol 14, 1992, 184-189
4. Harold W, Timing for Animation, Focal Press Limited, London, 1981
5. M. Inakage, A simple model of flames, CGI'90, 1990, 71-81
6. T. Nishita and Y. Miyawaki and E. Nakamae, A shading model for atmospheric scattering considering luminous intensity distribution of light sources, Computer Graphics, vol 21, 1987, 303-310
7. T. Nishita and E. Nakamae, A display method of uniform particels in the atmosphere, Proc. 35th Annual Conference IPS Japan, 1987, 2307-2308
8. T. Ohshima and S. Itahashi, Texture animation, Proc. NICOGRAPH'88, 1988, 110-119
9. K. Perlin, An image synthesizer, Computer Graphics, vol 19, 1985, 278-296
10. W.T. Reeves, Particle system-a technique for modeling a class of fussy objects, Computer Graphics, vol 17, 1983, 358-376
11. G. Sakas, Modeling and animating turbulent gaseous phenomena, The Visual Computer, vol 9, 1993, 200-212
12. G. Sakas and M. Gerth, Sampling and anti-aliasing of discret 3-D volume density textures, EUROGRAPHICS'92, 1992, 107-117
13. J. Stam and E. Fiume, Depicting fire and other gaseous phenomena using diffusion, Computer Graphics, 1995, 129-136
14. N.M. Thalamann and D. Thalamann, Image synthesis, Springer-Verlag, 1987.

15. Jinhui Yu & John W. Patterson, A fire model for 2D computer animation, *Computer Animation and Simulation'96*, Spriger-Verlag, 1996, 49-60
16. N. Foster and D. Metexas, Modeling the Motion of a Hot Turbulent Gas, *SIGGRAPH'97*, 181-187

Computer Generation of Cartoon Smoke

YU Jinhui XU Xiaogang PENG Qunsheng

(State Key Lab. of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou, 310027)

Abstract This paper presents a model of smoke for 2D computer animation. Here the emphasis is on the stylistic representation of the smoke. We show how to abstract static and dynamic structures of the smoke skeleton from hand-drawn series and, based on those structures, reproduce smoke skein and smoke puffs with proper rendering models. By stochastically varying the parameters, the model is able to generate smoke effects automatically with the look of traditional cartoon and avoid using the repeated cycles that may cause mechanical looking of the effects in hand-drawn animation.

Keywords Smoke model, cartoon animation, computer animation.