

# 喷雾的模拟\*

陈林 王裕国

(中国科学院软件研究所, 北京 100080)

**摘要** 本文讨论了一种用粒子系统模拟喷雾效果的方法, 该方法应用于实际电脑动画广告中, 制作了喷撒农药的片段. 喷雾体是一个粒子系统, 每个粒子是一个具有较高透明度的正方形微片. 喷雾体随喷口在空间运动. 微片的大小、透明度和运动学参数的规定决定了喷雾体的形状和视觉效果. 喷雾体所占有的象素的值是和该象素上的视线相交的所有微片的亮度决定的. 本文提出的模拟模糊物体的方法, 可推广到对其他模糊物体, 如烟、水、云等的模拟.

**关键词** 计算机图形学, 计算机动画, 模拟, 粒子系统, 模糊物体.

计算机动画的发展和應用都要求对不定形的模糊物体做较为真实的三维动态模拟. 有些人把模糊物体如云、烟、雾、尘、火和水等想象为由微粒构成的, 具有静态或动态密度分布的物体<sup>[1-3]</sup>. 也有一些人采用其他方法, 如用纹理映射模拟云<sup>[4]</sup>.

若把模糊物体想象为具有某种空间密度分布的粒子群, 那么对这类物体的模拟有赖于3个方面:

1. 对粒子特性的精心选择, 如对粒子的形状、大小、透明度、颜色和反射系数等的选择.
  2. 确定一个合适的粒子密度分布模型. 这要根据所模拟的对象决定. 粒子系统是一种描述粒子在空间是如何分布的方法. 其他方法, 如给粒子规定质量并计算动力学的影响、选择合适的数学函数等, 都可辅助确定粒子在空间中的密度分布.
  3. 决定光对粒子和粒子群的作用方式. 如光在粒子群中的透射、反射和散射等.
- 本文对上述3个方面做了初步探讨, 下面各节分别说明.

## 1 喷雾体的粒子系统

根据 Reeves 的定义, 一个粒子系统是许多微粒的集合, 它们合在一起表示一个模糊物体. 在一段时间内, 粒子被产生到系统中, 在系统中运动和变化, 最后从系统中消失. 喷雾体是由许多从一点喷出的正方形的微片组成的. 适当选择每个微片的初速可使它们分布在一个圆锥体内, 从而使它们看起来象一个喷雾体(图1).

为了真实地模拟一个模糊物体, 通常需要数万个甚至数10万个粒子, 其运算代价是很

\* 本文 1992-01-21 收到, 1992-05-25 定稿

作者陈林, 30岁, 实习研究员, 主要研究领域为计算机图形学, 计算机三维动画. 王裕国, 53岁, 研究员, 主要研究领域为计算机图形学.

本文通讯联系人: 陈林, 北京 100080, 中国科学院软件研究所

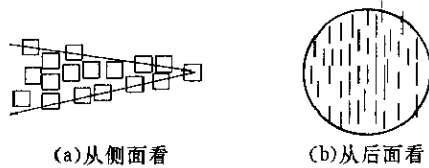


图1 喷雾体

大的,特别是在动画制作中,因为要产生许多幅图象,问题就更严重.为了以较少的粒子得到较真实的效果,须对粒子特性做精心选择.对粒子的形状可做各式各样的选择,比如立方体、球、点和棒槌体等.我们选择了最简单的由4个点定义的正方形作为粒子,且保持粒子在运动和变化过程中,其法线总是大致指向视点.这样每个粒子就可最充分的发挥作用.照片中的喷雾体都是由数千个正方形小微片构成的,由于每个微片的透明度很高,因此它们仍然能够产生连续的模糊的图象.

### 2 亮度分析

假设光在喷雾体中透射和散射后形成均匀的环境光,那么仍可对粒子采用 Phong 光照模型计算其亮度<sup>[5]</sup>.如何计算一条视线上的亮度呢?假设视线和  $n$  个透明度都为  $t$  的微片相交,如图 2,如采用线性透明模型,则有:

-----背景	$I_n = I_b t + I(1-t)$
-----微片 $n$	$I_{n-1} = I_n t + I(1-t)$
-----微片 $n-1$	...
...	$I_1 = I_2 t + I(1-t)$
-----微片 1	

图 2

其中  $I_b$  为背景亮度,  $I$  为每个微片的亮度,  $I_n, I_{n-1}, \dots, I_1$  为各个微片  $n, n-1, \dots, 1$  加上透明效果后的亮度.由上述各式可得:

$$I_1 = I_b t^n + I(1-t^n) \tag{1}$$

该式说明,若把  $n$  个透明度为  $t$  的微片看作一个整体,那么该整体的透明度为  $t^n$ ,这和文献[6]中的结果相类似.

### 3 与视线相交的微片数的计算

要计算视线上亮度,根据上一节,必须知道有多少微片和该视线相交,这里不考虑折射,视线通过微片时不改变方向.如图 3,微片从初始位置  $P_0$  喷出,其初始喷速  $V_0$ .

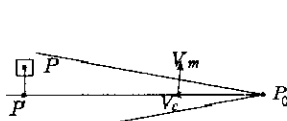


图3

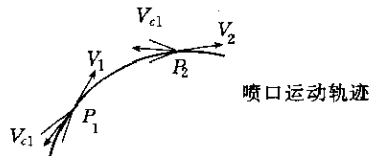


图4

由两部分组成:

$$V_0 = V_c + V_r \tag{2}$$

其中  $V_c$  为一个确定的矢量;  $V_r$  是一个随机矢量,它在半径为  $V_m$  的球内均匀分布.因此喷出的微片全部落在一个圆锥体内.该圆锥的母线与轴线的夹角为  $\arcsin(V_m/V_c)$ ,调节  $V_m$  与  $V_c$  的值即可调节喷雾体的形状.

假设  $P$  为喷雾体中的一个参考点,  $P'$  为轴线上的一点,  $PP'$  垂直于轴线.为方便,假设视点离喷雾体较远,过  $P$  点的视线垂直于  $P_0$ 、 $P'$  和  $P'$  所在的平面.若微片的边长为  $a$ ,  $|PP'|$  为  $y$ 、 $|P'P_0|$  为  $x$ ,那么与该视线相交的微片数的期望值  $n$  为:

$$n = N \frac{V_1}{V_2} \approx N \frac{3a^2 \sqrt{(\frac{V_m}{V_c}x)^2 - (y + \frac{a}{2})^2}}{2\pi(\frac{V_m}{V_c}x)^3} \quad (3)$$

其中  $N$  为一次喷出的粒子数;  $V_1$  为以视线为中心,边长为  $a$  的四棱柱,与以  $P$  为球心半径为  $(V_m/V_c)x$  的球的相交体积;  $V_2$  为上面所述的球的体积.当  $a$  远小于球的半径时,即可得出(3)式.该公式说明增加一次喷出的微片数目  $N$  或增大微片的边长  $a$  都可使与视线相交的微片数目变大;增加  $x$ ,即  $P$  离  $P_0$  越远,或增加  $y$ ,即  $P$  越靠近喷雾体边缘,都使与视线相交的微片数目变小.这些都和实际观察到的结果相符合.

#### 4 喷口的运动

喷口,即粒子的初始位置,也是运动的.由(2)式可知粒子的初始喷速由两部分组成,即确定喷雾锥体轴线方向的主控速度矢量  $V_c$  和一个均匀分布在一定半径的球内的随机速度矢量  $V_r$ .当喷口沿一条路径运动时,粒子的  $V_c$  的方向和喷口速度的方向相反.喷口速度方向由路径在当前位置的切线决定.因此粒子的初始位置和初始速度都和喷口的当前位置有关.如图 4,  $P_1$  和  $P_2$  是喷口运动路径上的两点,  $V_1$  和  $V_2$  分别是喷口在  $P_1$  和  $P_2$  处的速度,  $V_{c1}$  和  $V_{c2}$  是在  $P_{v1}$  和  $P_{v2}$  处粒子喷出时的主控速度.喷雾体的当前位置和形状如图 4 所示.

#### 5 实 现

本文提出的方法已在 SGI 工作站上利用 TDI 软件实现的. TDI 是用于动画制作的软件,它提供了较强的动画制作工具,如多边形和曲面造型、纹理设计和动画设计等.但无法直接用该软件制作诸如喷雾效果的动画.因此我们对 TDI 进行了扩充. TDI 提供了供程序员使用的接口库,调用该库的函数可以实现对 TDI 格式的数据库的存取.模拟喷雾的粒子系统是用该库实现的.在生成了 TDI 格式的粒子系统的数据库后,使用 TDI 的图象生成软件生成喷雾体的图象.生成一帧图象大约需要 10 分钟.一共生成了 75 帧图象,即 3 秒喷雾体动画.该动画应用于为某化工厂制作的农药广告中.

#### 6 结 果

根据(1)和(3)可得视线上的亮度  $I$  为:

$$I = I_b t^n + I_c (1 - t^n) \quad (4)$$

其中  $I_b$  为背景亮度,  $I_c$  为每个微片的由 Phong 模型计算的共同亮度,  $t$  为每个微片的透明

度,  $n$  为与该视线相交的微片数. 在实际应用中, 视线上的微片数由一个计数过程求得, 不能用(2)计算, 否则将降低图象的真实感, 因为使用(2)式计算抹杀了喷雾体的随机特性. (2)只用于说明喷雾体的宏观效果.

本文用粒子系统模拟了喷雾现象, 并讨论了和喷雾有关的一些特性. 在两个方面可以扩展本文提出的方法. 首先通过改变粒子的特性, 如粒子的形状, 颜色和透明度, 改变粒子的运动学参数可模拟其他模糊物体. 其次采用更好的方法, 如考虑粒子的动力学关系, 定义粒子在空间的密度分布.

### 参 考 文 献

- 1 Blinn J F. Light reflection functions for simulation of clouds and dusty surfaces. *Computer Graphics*, 1982, **16**(3): 21—29.
- 2 Kajiya J T. Ray tracing volume densities. *Computer Graphics*, 1984, **18**(3):165—173.
- 3 Reeves W T. Particle systems—a technique for modelling a class of fuzzy objects. *Computer Graphics*, 1983, **17**(3):359—375.
- 4 Gardner G Y. Visual simulation of clouds. *Computer Graphics*, 1985, **19**(3):297—303.
- 5 Phong B T. Illumination for computer generated pictures. *Communications of the ACM*, 1975, **18**(6):311—317.
- 6 Kay D S, Greenberg D. Transparency for computer synthesized images. *Computer Graphics*, 1979, **13**(2):158—164.

## SIMULATION OF SPRAY

Chen Lin and Wang Yuguo

(*Institute of Software, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080*)

**Abstract** A method of simulation of spray using particle systems is presented in this paper. The spray body is a particle system composed of square pieces with high transparency. The spray body moves in space with the spray mouth. The shape and visual effect of the spray body are determined by the size, transparency and Kinematic parameters of the square pieces. All pieces intersected with one sight ray contribute to computing of the pixel value of the sight ray. This method is generally applicable to simulation of other fuzzy objects such as smoke, water and cloud.

**Key words** Computer graphics, animation\*, simulation, particle systems\*, fuzzy objects\*.