

粒子系统模拟自然景物的探讨

71-74

刘晓波 王柏 鲍家元

TP391.41

(西安交通大学计算机系, 710049, 西安咸宁路 28 号, 第一作者 26 岁, 女, 硕士研究生)

摘要 讨论粒子系统的构成, 在随机处理的基础上, 提出用粒子系统描述模糊、不规则物体的造型方法, 给出了“雾”和“焰火”两个实例。

关键词 计算机图形; 计算机动画; 自然景物模拟; 粒子系统

分类号 TP391.2

计算机图形学

构造复杂物体的模型是计算机图形学中的一个新课题。这里的“复杂”是指某种物体的形状无法或很难用经典的欧几里德几何来描述。欧氏几何的主要描述工具是直线、平滑的曲线、平面及边界整齐的平滑曲面, 这些工具在描述一些抽象图形或人造物体的形态时是非常有力的, 但对一些如树木、云彩、火焰、浪花、雨、雪、山峰等自然景象形态就显得无能为力了。由欧氏几何来看, 它们的形体是极端无规则的, 动态变化的, 在构造这类复杂物体的几何模型时需要大量的数据, 而且这些数据随机性很强, 数据库十分复杂, 计算量相当大, 这在实际应用中是行不通的。由于自然景物规模很大, 不同的观察级别具有不同的细节, 即使轮廓大致相同的物体, 但仔细看起来却各不相同, 若要真实地再现它们, 则需要大量的设计时间和存储空间, 而且生成的景物有可能过于单调, 与真实世界相差很远。而对于风、浪等边界模糊的景物更是无法用传统动画描述。

在计算机图形学中, 描述这类形态复杂并且不断变化的景物的方法是用一个生成函数, 根据一些反映物体几何特征和运动特征的数据, 计算出所要描述物体的几何数据, 同时根据物体形态变化规律, 给出描述形态变化的动态参数, 利用这些数据, 结合生成函数, 就可以完成对一个自然景物的动态描述。成功的方法有 FRACTAL 模型与粒子系统。FRACTAL 模型是 1982 年提出的, 用它可以描述山脉、树木、云彩等景物。而要用它描述由离散粒子组成的景物, 以及描述某些现象从开始到结束的全过程, 就具有一定的困难。为了描述这类景物, 近年来又提出了粒子系统模型。粒子系统具有简单性, 用小粒子(如球体)作图元, 以粒子充满物体, 使其呈现各式各样的形状。同时粒子系统又是一个动态表现过程, 其中粒子处于产生、生长、消亡的不断运动中, 因此它可以随时间而不断改变其大小、形状。粒子系统的定义是过程化的, 并由随机数来控制, 故不需大量的人工设计, 就可以得到细致的图象, 并且还可以调整显示的细节级别以适应不同的观察要求。由于粒子系统具有以上几个物性, 因此它可以逼真地表现具有丰富细节的物体, 并且还可以动态地表现自然界景物中某些现象的形成到消亡的过程, 而这恰恰是传统手法难以办到的。本文探讨用粒子系统构造模型的基本方法, 并给出用粒子系统描绘雪和焰火的实例。

1 粒子系统构造模型的基本方法

粒子系统是用基本粒子的群来描述物体的形态及其变化。这些基本粒子可以是一个象素, 也可以是一些简单的绘图图元, 它们的集合确定了物体的形态。粒子系统不是一个静态的整体, 而是随时间的推

进处在不断运动中的粒子集合中,其结构可以改变,位置可以移动,新的粒子可以不断产生,同时旧的粒子可以“湮灭”。也就是说,用粒子系统表示的物体是不确定的,它的外形和结构可以复杂多样,形态各异,可以处在运动变化中,并且在一定程度上还具有一定的随机性。

作者认为用粒子系统描述物体,首先要对描述对象的形体、运动状态等方面的特征作深入分析研究,确定用粒子系统描述的基本目标,然后顺序完成以下几个方面的设计和计算:

- (1)在系统中生成新的粒子;
- (2)赋予每一个粒子以属性;
- (3)剔除系统中已存在且超过其预先描述的生命周期的所有粒子;
- (4)把余下的粒子按其运动学属性移动,其他属性也按其变换规则变化;
- (5)在一个帧缓冲器中表示出所有生存粒子的图象。

完成上述工作以后,所得到的结果不一定恰与客观对象符合,往往需要对上述设计和计算进行多次的修改,才可能得到一个接近真实物体形态及其运动的描述。

本文采用简单的随机函数来作为帧产生的每一步中的过程元素,为了控制一个粒子系统中的粒子的形态和运动,我们引入一个属性集合,其中的属性确定了一个粒子存在的形态范围,它们是用有效值以及最大变化范围来定义的。

1.1 粒子生成

粒子的产生是通过一个随机过程来控制的,首先要控制的是在每个时间间隔中要进入系统的粒子数目,这个量值将直接影响所模拟对象的密度大小。我们可以通过以下两种方法来控制新粒子的数目。第一种方法是指定每帧画面新粒子的平均数 MeanParts,以及最大变化范围 VarParts,则第 j 帧中生成粒子的实际数目为:

$$NParts_j = \text{MeanParts}_j + \text{Rand}() * \text{VarParts}_j$$

其中 Rand() 是一个介于 $-1.0 \sim 1.0$ 之间的随机数。

第二种方法是使所指定的平均数与最大变化范围为屏幕上单位面积中所生成的粒子的平均数和方差,因此生成粒子的数目决定于物体所占屏幕的大小。

$$NParts_j = (\text{MeanParts}_{s_j} + \text{Rand}() * \text{VarParts}_{s_j}) * \text{ScreenArea}$$

这种方法可以产生不同的细致程度,并且节省了显示图象所需的时间。为了使粒子系统在瞬时可以增、减大量的粒子,我们可以随时间改变每一帧所产生的平均粒子数,以用于模拟爆炸所产生的效果,即:

$$\text{MeanParts}_j = \text{InitMeanParts} + \text{DeltaMeanParts} * (f - f_0)$$

$$\text{或 } \text{MeanParts}_{s_j} = \text{InitMeanParts}_{s_0} + \text{DeltaMeanParts}_{s_0} * (f - f_0)$$

其中 f_0 为粒子系统存在的第一帧, InitMeanparts 和 InitMeanparts_s 分别为 f_0 时系统具有的平均粒子数和单位面积所具有的平均粒子数, DeltaMeanParts 和 DeltaMeanParts_s 分别为系统每一帧平均粒子数和单位面积每一帧平均粒子数的改变率。

1.2 粒子属性

对于每一个新产生的粒子,粒子系统必须为它们指定各自的属性值,粒子的属性集合,一般而言由以下几个方面组成:粒子位置、速度大小及方向、粒子大小、颜色、透明性、形状及生命周期等。粒子的属性值取自所定义的有效值,并在此基础上可增加一定的随机扰动。此外,粒子系统还应定义一个产生形状,使得可以在此确定区域内随机选择粒子的初始位置,如一个半径为 R 的球、圆面、圆环等等,也可以按一定的自然模型来生成更复杂的产生形状。

一个系统中的粒子可以称之为一个“群”,它们有相类似的运动趋势,但又可以具有不同的运动轨迹,故初始速度采用如下方式定义:

$$\text{Speed}_i = \text{Speed}_m + \text{Speed}_v * \text{Rand}(),$$

其中 Speed 后的 i , m 和 v 分别表示初始、平均和最大变化范围。粒子的其他属性也可以作类似处理。

1.3 粒子的运动与改变

在粒子系统中,粒子要在三维空间中运动,而且随着时间的改变,在颜色、大小、透明性等方面也会发生变化。为了实现这种动态的改变,即反映某一个粒子从当前帧到下一帧在位置、大小、颜色等方面的变化,需要作一定的计算。假定帧间隔时间为 δt ,则

$$P_j = P_{j-1} + \text{Speed}_{j-1} * \delta t,$$

$$\text{Speed}_j = \text{Speed}_{j-1} + \text{Speed } v_{j-1} * (1 - \text{Rand}() * P).$$

其中 P_j 与 P_{j-1} 分别为粒子在第 j 帧、第 $j-1$ 帧处的位置, (Speed_j 与 Speed_{j-1} 分别为粒子在第 j 帧、第 $j-1$ 帧处的速度) $\text{Speed } v_{j-1}$ 为粒子在第 $j-1$ 帧处的速度变化量。

为了更形象地模拟外力对物体的作用,引入了扰动函数 P , P 为 $0.0 \sim 1.0$ 间的一个实数。当粒子与所定义的障碍物发生碰撞时,则用粒子的弹性系数作出反弹速度的计算。

同样,粒子的其他属性也可像速度一样作类似修改变换。

1.4 粒子的消失

当新粒子产生时,我们都用以帧数为量度的方式指定它们的生命期,当这个数随着帧数变大而逐渐减小,直到为零时,这个粒子就不应当再在系统中出现。另外,若粒子光强低于某一阈值、粒子超过规定边界或速度高于某一阈值,都可使粒子消失。

1.5 粒子的绘制

这个问题与绘制其他基本图元所组成的场景同样复杂,要考虑消隐、阴影以及透明性对其他粒子的影响,而且粒子系统所表示的内容还可能与同一场景中用其他方法所表示的对象相互影响。

在本文中,我们对此作了适当的简化。首先,不考虑其他表示方法对粒子系统的影响,对不同方法采用分而治之的办法分别进行处理后再合成;其次,在此处把粒子看作为发光体,这样可以不考虑阴影问题,然后对粒子采用深度优先和 Z-BUFFER 相结合的算法进行排序,同时还应考虑到粒子的透明性。这样一个同时对几个粒子的象素的值,是由这些粒子贡献值的迭加得到的。

1.6 粒子的层次结构

粒子也可以是分层结构的,即某一层上的粒子本身可以是下一层上的一个粒子系统。当父系统改变时,其子孙系统及其中的粒子也随之改变,子系统对父系统具有继承性,这样可以维护“群”的概念,使得同一群粒子具有相似的属性变化,具有类似的运动规律。因此,我们可以用一个层次结构对由许多粒子系统组成的复杂模糊物体的外部运动进行全局控制。例如,云的形态及运动可以用一分层的粒子系统来描述,下层的子系统,表示一个翻腾的水粒子区,反映云本身部分区域的“内部”变化。父系统把这些子系统组合起来,控制由风向、地形的变化而产生的云的总体运动及外形变化。

2 质点系和流质系模型

严格地说,还可以把粒子系统进一步划分为质点系和流质系。质点系的边界是不明确的、非连续的,且是动态变化的,其中的粒子有产生、运动、消亡的过程,如流云、尘烟、焰火等都属于质点系。流质系有较明确的、连续的、动态可变的边界,并且粒子一旦产生便处于运动而永不消亡,如水流、岩浆流、泥石流、波涛等都属于流质系。因此,对于流质系,可忽略其边界以内的粒子,而只关注影响其外观形态的边界上的粒子的产生、运动及变化规律。

3 粒子系统的实例

3.1 雪

我们采用白色粒子来模拟大雪纷飞的情景。雪粒子系统的生成形状是一个类似于天空一样的矩形体。我们给定这些粒子以一定的初速度及垂直旋转轴,并带有一定的随机变化。让粒子自上而下坠落,同时作螺旋和涡旋运动,粒子碰到地面后反弹量很小,可近似为零,磨擦力却很大。因此,它一旦落到地

面就附着其上。由于重力和空气阻力可以相互抵消,所以粒子在垂直方向上的加速度为零,以一定的垂直速度均匀下落。

3.2 焰火

在焰火表演中,我们根据所用的化学成分,确定了一个有限的色彩范围。粒子的生成形状可以是球形,环形,粒子具有一定的初始速度,并受重力作用向下坠落。一个焰火打上去以后,粒子自然发出耀眼的光。然后逐渐褪色直至消失。为了模拟这一过程,我的用 Delta RGBA 值为负的方法使粒子越来越暗,越来越透明,直至低于给定的阈值而消失。

焰火粒子运动很快,人眼存在视觉暂留,因此存在拖曳现象。为了模拟这种现象,我们采用以下方法:在帧的开始计算粒子的三维坐标,在帧的正中间再计算一次,在帧缓存器中,把这两个位置所对应的屏幕坐标点间画一直线(粒子轨迹也可以是参数化的,但实践证明直线效果最好)。这样得到的图象比仅仅显示粒子点所得到的图象要逼真得多。还可采用层次结构,使一个焰火可以由多个色彩不同的粒子系统组成,它们具有不同的生成形状,不同的变化规则和运动规律,这样可以更真实地模拟绚烂多姿的焰火。

3.3 讨论

在上述两个例子中,我们没有考虑粒子的碰撞检测问题,这是由于雪粒子和焰火粒子都很小,它们各自之间的碰撞对整个系统的运动及形态没有多大影响,为了使系统定义简单,在此可以不考虑。若构成系统的粒子间的碰撞以及粒子与系统包络面的碰撞对粒子或系统的运动及外形影响很大,则这个问题必须考虑。我们要根据碰撞对粒子及系统运动产生的效果对粒子系统进行修正。这是我们今后要解决的问题。

4 结束语

自然景物中的大多数物体是随机的、模糊的、无规则的,因此可以把它们看作是粒子系统。它们不是静止的,而是随着时间的变化处在不断运动中的粒子集合,随着新粒子的不断产生和运动以及旧粒子的消亡,将引起其外形及内部结构的不断变化,因此粒子系统能够较好地反映自然界的真实情况,可用于自然景物及各种自然现象的模拟显示。

参 考 文 献

- 1 William T. Reeves particle systems — a technique for modeling a class of fuzzy objects. *Computer Graphics*, 1983, 17 (3), 359~376

Modeling Natural Phenomena by Using Particle Systems

Liu Xiaobo Wang Bai Bao Jiayuan

(Department of Computer Science, Xi'an Jiaotong University, 710049, Xi'an)

Abstract The structure of particle system is discussed, and a modeling method based on particle system and stochastic process is proposed. It can simulate fuzzy, irregular objects such as fire, cloud wave and firework, etc.

Key words computer graphics; computer animation; modeling of natural phenomena; particle system