

基于粒子系统的雨点和雪花降落模拟生成*

谢剑斌 郝建新 蔡宣平 孙茂印

(国防科学技术大学电子工程学院, 长沙 410073)

摘要 针对粒子系统生成虚拟场景的速度太慢的缺点, 首先介绍了粒子系统的一般原理, 然后分析了雨点和雪花的属性特点, 最后提出了基于粒子系统的雨点和雪花降落的实时模拟生成算法。

关键词 粒子系统 建模 实时生成

0 引言

1983年Reeves提出了一种模拟不规则模糊物体的方法, 即粒子系统方法。它充分体现了模糊物体的动态性和随机性, 能很好地模拟风中飘摇的树枝、流云、浪花、薄雾、雨水和雪花等三维复杂自然景物^[1]。

粒子系统的基本思想是: 采用许多形状简单但赋予生命的微小粒子作为基本元素来表示不规则的模糊物体。粒子系统方法虽然比较简单, 但是粒子图形生成的速度很慢, 在中高档工作站上生成一帧逼真画面需要大约5~30分钟^[2]。

本文针对粒子系统生成虚拟场景的速度太慢的缺点, 首先介绍了粒子系统的一般原理, 然后分析了雨点和雪花的属性特点, 最后提出了基于粒子系统的雨点和雪花降落的实时模拟生成算法。

1 粒子系统的基本原理

1.1 对物体的基本处理步骤

粒子系统是用基本粒子群来描述物体的属性及其变化, 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基本形态。粒子系统不是一个静态的整体, 而是随时间的推移处在不断运动中的粒子集合体。其中粒子群的分布结构可以改变, 各个粒子的位置可以移动, 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, 可以处在一定规律的运动变化中, 并且在一定程度上还具有一定的随机性^[3]。

可按照如下的步骤用粒子系统来描述三维复杂自然景物:

- 步骤1 深入分析对象的形体, 即物体的静态特性;
- 步骤2 深入分析对象的运动状态和运动规律, 即物体的动态特性;
- 步骤3 确定用粒子系统描述的基本目标;
- 步骤4 对粒子目标进行粒子系统绘制;
- 步骤5 将用各种方法绘制的图形/图象进行融合。

1.2 粒子系统绘制的处理步骤

粒子系统方法可以产生一系列运动进化的画面, 这使得模拟动态的三维复杂自然景物成为可能。生成粒子系统某瞬间画面的基本步骤为^[4]:

- 步骤1 在系统中产生新的粒子;
- 步骤2 赋予每一新粒子一定的静态属性;
- 步骤3 删除系统中已存在且超过其预先描述的生存期的所有粒子;
- 步骤4 根据剩余粒子的动态属性对粒子进行移动和变换;
- 步骤5 显示由有生命的粒子组成的图象。

粒子系统的随机性使模拟生成的三维复杂自然景物可具有高度真实感的特性。但是为了真实地模拟一个模糊物体, 通常需要成千上万个粒子, 其运算代价是很大的^[5]。

* 本文研究获得“九五”国防预研项目基金(No. 96J4. 3. 1. KG0116)资助

收稿日期: 1998-12-07; 收到修改稿日期: 1999-01-25

2 雨点和雪花的属性描述

2.1 静态属性

雨点和雪花粒子的静态属性主要包括:粒子形状和大小,粒子颜色和透明度,光在粒子群中的透射、反射和散射等。其中,粒子的形状可选择二维的,如三角形、矩形、圆形等;更为真实的粒子形状可选择三维的,如4面体、长方体、球体等。粒子的大小可根据粒子形状的种类来定义,譬如球体粒子的大小可由粒子半径唯一决定^[6]。粒子的颜色与模糊物体的整体外观颜色是一致的,但是,某些粒子的颜色是有一些差别的,这主要和环境光的照射程度、粒子群的透明度息息相关;而粒子的透明度是物体的整体外观透明度的体现^[7]。另外,光在粒子群中的透射可以通过透明度的计算来实现;光在粒子群中的反射和散射要通过对具体的模拟对象进行仔细分析后才能得出,不同形状和材质的粒子所对应的反射和散射是很不相同的^[8]。

2.2 动态属性

雨点和雪花粒子的动态特性主要包括:粒子群的密度分布变化,粒子随其动力学特性的变化等^[9]。

雨点和雪花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分布大小。

在粒子系统中,雨点和雪花粒子要在三维空间中运动。按照物体的运动规律,物体中粒子的加速度 a 、速度 v 和位置 s 有如下的约束关系:

$$v = v_0 + \int a dt \quad (1)$$

$$s = s_0 + \int v dt \quad (2)$$

3 基于粒子系统的雨点和雪花降落的实时模拟算法

3.1 概述

雨点和雪花降落的模拟生成算法是十分相似的,区别主要在于粒子群的形状、大小、密度分布变化和运动规律不一样。譬如雨点的粒子群密度分布要比较浓一些;雪花的粒子群密度分布要比较淡一些。

3.2 适当的雨点和雪花粒子属性简化处理

(1) 透明度的简化算法

假如在视线方向上有 n 个透明度为 t 的粒子,其中第 n 号粒子为距离图象背景最近的粒子,第 1 号粒子为距离图象背景最远的粒子。如果所有粒子的亮度都相等,并且采用线性透明模型,则可以得到:

$$I_n = I_b \cdot t + I(1 - t)$$

$$I_{n-1} = I_n \cdot t + I(1 - t)$$

...

$$I_1 = I_2 \cdot t + I(1 - t)$$

其中: I_b 为背景亮度, I 为每个粒子的平均亮度, I_n , I_{n-1} , ..., I_1 为粒子 $n, n-1, \dots, 1$ 加上透明效果后的亮度。由上述公式可得:

$$I_1 = I_b \cdot t^n + I(1 - t^n)$$

上式表明,若把同一视线上的 n 个透明度为 t 的粒子看作一个整体,那么该粒子群整体的透明度为 t^n 。

(2) 粒子群密度的简化算法

控制新粒子数目的两种常用方法为:

① 平均新粒子数衡量法

即指定每帧画面新粒子的平均数 Mean_Particles 和粒子数的最大变化范围 Vari_Particles, 则第 i 帧中生成粒子的实际数目为:

$$\text{Number_Particles} = \text{Mean_Particles} + \text{Vari_Particles} * \text{Random}()$$

其中, $\text{Random}()$ 是一个介于 $-1.0 \sim 1.0$ 之间的随机数。

② 物体面积衡量法

即指定屏幕上单位面积中新粒子的平均数 Mean_Particles_Area 和粒子数的最大变化范围 Vari_Particles_Area, 则第 i 帧中新粒子的实际数目为:

$$\text{Number_Particles} = (\text{Mean_Particles_Area} + \text{Vari_Particles_Area} * \text{Random}()) * \text{ScreenArea}$$

其中, $\text{Random}()$ 是一个介于 $-1.0 \sim 1.0$ 之间的随机数, ScreenArea 为物体的粒子部分所占屏幕的大小。

方法②可以产生不同的细致程度,能更好地模拟三维复杂自然景物;并且可采用 LOD(Level of Detail, 即细节层次模型)方法来控制显示图象所需要的时间。

(3) 粒子运动状态的简化算法

利用式(1)和式(2)进行粒子运动状态的计算量是很大的,可采用等加速度运动的方法来实现离散情况下物体运动状态的简化计算,等加速度运动的计算方法如下所示:

$$v_n = v_{n-1} + a\Delta t$$

$$s_n = s_{n-1} + v_n\Delta t$$

其中, s_n 是时刻 n 的物体位置, v_n 是时刻 n 的物体速度, a 是物体的加速度, Δt 是离散的时间间隔。等加速度运动方法不仅运算简单,而且精确率也较高,另外等加速度运动方法可使用效率更高的递推运算来计算相邻时刻粒子的速度和位置。

3.3 关于视觉感知心理学的处理

(1) 面积和焦点因素对视觉的影响

考虑人眼的视觉感知特点来简化场景中雨点和雪花粒子系统部分的图象处理,可以在保证图象质量的前提下,大大加快粒子系统生成雨点和雪花的速度。譬如考虑面积和焦点因素对人眼视觉感知的影响。

从直觉上说,一个粒子群在屏幕上所占面积越大,对整个虚拟场景效果的贡献也就越大,因此,粒子群在屏幕上所占面积越大,其选用粒子系统的层次模型也应该越复杂。反之,若粒子群在屏幕上所占面积很小,则选用粒子系统的层次模型可以很简单。

实验心理学还表明,人类仅对双眼注意的焦点看得很清楚,而对焦点之外的虚拟场景看得并不清楚,对眼角处所看到的场景更是只有模糊的印象。基于以上认识,虚拟场景生成系统对双眼的焦点进行动态跟踪,并以此作为选取粒子系统层次模型的关键尺度之一。显然,在焦点区域,所选粒子系统的层次模型较复杂;在焦点以外的区域粒子系统的层次模型就可以较为简单。

(2) 深度感知的加强实现算法

在虚拟场景中,对于参与者来说,要实现“身临其境”的感觉,三维复杂自然景物的深度感知是至关重要的。尽管在正常情况下,对于雨点和雪花的降落过程,按照三维环境模拟和透视变换折算至显示平面绘制,可以自动实现一定程度的深度感知效应;但是本文还采用了多层薄膜的方法来加强模拟雨点的深度信息,即远处雨点的移动速度要更慢一些,而且雨点的尺寸要更小一些,以给出更强烈的深度感觉。对于表现瓢泼大雨,用雨点碰撞地面形成的水滴来强调雨点的剧烈效果,它的随机性很强,这可通过“Blob”(即滴状物)方法来实现。

同理,本文采用了多种尺寸和下降速度粒子群的方法来加强实现雪花的深度感知,即越远的地方,雪花的尺寸越小,雪花降落的速度越慢。

3.4 线性表的应用

在计算雨点和雪花粒子群的旋转状态时,涉及到三角函数 $\cos\alpha$ 和 $\sin\alpha$ 等运算,这会大大降低整个虚拟场景系统的生成速度。

现在存储器的价格下降很快,故可采用查找表的方法来避免复杂耗时的三角函数运算,即将 $\alpha \in (0, 2\pi)$ 的 $\cos\alpha$ 和 $\sin\alpha$ 值用一个线性表预先存放起来。在大多数高精度三维彩色图形处理系统中,可以将 $(0, 2\pi)$ 细分为 10^3 等份,这样系统所需要的线性表的容量约为 2KW。

3.5 显示列表的应用

在雨点和雪花降落的模拟生成过程中,我们使用了 OpenGL 三维图形库,并且使用 OpenGL 显示列表来加快雨点和雪花的动态生成速度。

OpenGL 显示列表是由一组预先存储起来的留待以后调用的 OpenGL 函数语句组成的命令集合,在动态模拟过程中,调用这张显示列表时就依次执行表中所列举出的函数语句。

在基于微机的虚拟场景生成过程中,Windows 95 或 Windows NT 下的窗口程序必须首先处理设备描述表(DC),同样 OpenGL for Windows 95 的程序也必须使用 DC。其中,显示列表是 DC 中专为 OpenGL 使用的一种图形操作描述表。一个 OpenGL 应用图形的显示列表中有 OpenGL 与 Windows 95 窗口系统相关的各种信息。一个 OpenGL 应用首先必须创建一个图形显示列表,然后再启动它,最后在所定义的窗口内按常规方式调用 OpenGL 函数绘制图形。

一个 DC 中所调用的每个 GDI 函数都需要一个句柄,而显示列表只需要一个句柄就可以任意调用 OpenGL 函数。

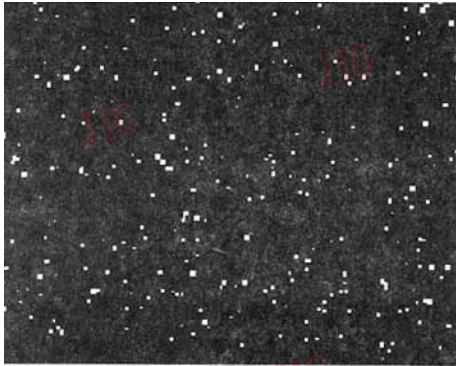
OpenGL 显示列表的设计能优化三维图形和图象处理程序的运行性能,尤其能优化分布式视觉模拟的网络性能。它被设计为命令高速缓存,并能将许多相邻的矩阵变换结合成单个的矩阵乘法,所以采用显示列表技术生成雨点和雪花要比立即方式快得多。

4 结束语

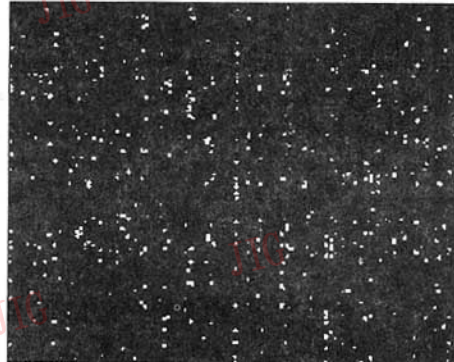
本文对基于粒子系统的三维雨点和雪花降落的

模拟生成进行了研究,并且在 Pentium 微机上 (CPU:586/233,内存:32MB,硬盘:2.1GB)进行了实验,其结果图形中的两帧画面如图1所示。实验结果表明:本文所述的基于粒子系统的雨点和雪花降落快速模拟算法由于采用了雨点和雪花属性的合理简化、关于视觉感知心理学的加速处理、线性表的

应用和显示列表的应用等4个方面的加速技术,使得本文中的雨点和雪花降落的模拟生成速度大大加快,在高档微机上达到了实时效果。因此,本文所述的基于粒子系统的雨点和雪花降落的模拟生成算法十分适合应用于VR(Virtual Reality,即虚拟现实)的虚拟场景生成系统中。



(a) 用粒子系统生成的雪花



(b) 用粒子系统生成的雨点

图1 实验结果(图形中的两帧画面)

参 考 文 献

- 1 Reeves W T. Particle system——A technique for modeling a class of fuzzy objects. SIGGRAPH' 83, Computer Graphics, July 1983,17(3):359~376.
- 2 Alex Pang. Spray rendering. IEEE Computer Graphics and Applications, Sept 1994, pp. 57~63.
- 3 Jarke J van Wijk. Flow visualization with surface particles. IEEE Computer Graphics & Applications, July 1993, pp. 18~24.
- 4 Jos Stam, Eugene Fiume. Depicting fire and other gaseous phenomena using diffusion process. Computer Graphics, Proceedings,

- 1995, pp. 129~136.
- 5 Kalawsky R S. The science of virtual reality and virtual environments. 1993.
- 6 Karl Sims. Particle animation and rendering using data parallel computation. Computer Graphics, 1990,8(4).
- 7 Perlin Ken. An image synthesizer. Computer Graphics, 1985, 19(3): 289~296.
- 8 Sims K. Particle animation and rendering using data parallel computation. Computer Graphics, 1990,24(4):405~413.
- 9 Goss M E. A real time particle system for display of ship wakes. IEEE Computer Graphics and Applications, May 1990.



谢剑斌 1996年毕业于国防科学技术大学电子工程学院获硕士学位,现在国防科学技术大学电子工程学院攻读博士学位。主要研究领域为计算机图形学,实时显示,虚拟现实技术。曾在国内发表20多篇学术论文。



蔡宣平 教授,国防科学技术大学电子工程学院405室主任,副博士生导师。主要从事计算机图形学,科学计算可视化,虚拟现实技术,三维动画技术等领域的研究。有学术专著2部。



郝建新 教授,国防科学技术大学校长办公室主任,副博士生导师。主要研究领域为计算机图形学,虚拟现实技术,科学计算可视化。



孙茂印 教授,国防科学技术大学电子工程学院前院长,博士生导师,“863”专家组成员。主要从事计算机图形学,科学计算可视化,虚拟现实技术,空间数据库技术等领域的研究。已发表论文60多篇。

The Real Time Simulating Algorithm of Rain and Snow Descending Based on Particle Systems

Xie Jianbin, Hao Jianxin, Cai Xuanping and Sun Maoyin

(Department of Electronic Technology, National University of Defense Technology, Changsha 410073)

Abstract In accordance with much too slow speed drawback on generation of virtual scenes based on particle systems, this paper first describes general principle of particle systems; then analyzes property of rain and snow; finally presents a real time simulating algorithm of rain and snow descending based on particle systems.

Keywords Particle systems, Modeling, Real time generation

VTEL 亚太地区代理商年会在北京召开

(1999年8月13日,北京)为期三天的“VTEL 美国视讯公司亚太地区代理商年会暨新产品发布会”日前圆满结束。来自亚太地区十多个国家的100多位VTEL产占品代理商代表参加了这次历史上规模最大亚太代理商年会。在中国召开这样一次大型的代理商年会,充分显示了VTEL公司对中国市场的重视。值得一提的是,本次大会的主要活动都是通过会议电视同VTEL美国总部实时进行的。

此次年会由一系列产培训、销售讨论及市场研讨会组成。VTEL就现有产品的操作、维护及升级,销售政策、代理政策、对代理商的管理、协调与操作以及市场趋势与发展前景等方面与亚太区代理商进行了集中的培训与讨论。对于扩展开发各地市场、加强区域间的沟通与合作也与参会代理商进行了相互交流。

同时,VTEL还配合销售讨论,组织了在医疗健康、高等教育、政府和商业等8个行业市场的分析研讨会,并分别邀请了美国、澳大利亚等地的VTEL产品、行业专家在当地通过会议电视进行主题发言,针对各个行业市场的具体特点;对VTEL产品解决议案的成功案例和应用前景给予了生动的描述。

在本次大会上,VTEL还推出了其最新开发研制的基于VTEL可扩展构架。(VTEL Bcaleable Architecture-VSA)之上的大型会议电视产品线中的新型号——银河(Gaxy)系列。该产品以其强大的信息应用共享和无线控制功能,卓越的视音频和静止图象质量,成为会议电视产品中的佼佼者,更确立了VTEL在世界视讯市场上的领导地位。

对于这次会议,VTEL美国视讯公司美国总部给予了极大的重视。VTEL公司总裁兼首席执行官Stephen Von Rump亲自参加第一天的实时新闻发布会,通过视频传输在美国奥斯汀VTEL公司总部表达了他对大会的期望:“在世纪之交全球的视讯行业处于变革之际,在亚太区召开最大规模代理商年会对VTEL公司具有极其重要的战略意义。这表明VTEL公司对亚太地区的高度重视及VTEL与代理商之间更加紧密的合作的良好愿望。我相信,21世纪的到来将为视讯行业打开新的局面,VTEL也将继续为这一领域的进一步发展发挥积极作用。”

VTEL美国视讯公司亚太区副总裁Ted Augnstin表示:“中国市场是亚太地区最重要也是最成功的市场,此次在中国召开这届年会,足以表明VTEL公司对中国市场的前景充满信心,它也将巩固中国市场在亚太地区的重要地位。作为视讯行业的领导厂商,VTEL可谓以身作则推动人们对视讯产品的认识。这次大会正是一个很好的向中国用户证明视讯产品带给人们便利的机会。正是视讯产品的高效和方便才使此次大会如此圆满成功。”