

基于粒子系统的喷泉模拟^{*}

赵静谧, 张 慧, 郑国勤
(清华大学 软件学院, 北京 100084)

摘 要: 提出了一种基于粒子系统和 Particle System API 的景物模拟方法, 并采用 Line 方式取代传统的 Point 方式渲染粒子, 结合纹理映射方法实现了多种喷泉模拟。实验证明用该方法模拟喷泉效果比较真实, 速度快, 在普通微机上可以得到令人满意的效果。

关键词: 粒子系统; Particle System API; 喷泉仿真

中图法分类号: TN911. 73 文献标识码: A 文章编号: 1001-3695(2006)01-0244-02

Fountain Simulation Based on Particle System

ZHAO Jing-mi, ZHANG Hui, ZHENG Guo-qin
(School of Software, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: This paper, presents a simulation method of the scenery based on particle system and Particle System API. Combining with texture mapping, multiple fountain simulation is realized by adopting line way instead of traditional point way to render particle. The experiment shows that this method is fast and can realize true simulation of fountain effect in consumer PC platform.

Key words: Particle System; Particle System API; Fountain Simulation

自然景物模拟一直都是计算机图形学研究者面临的巨大挑战之一。由于自然景物的形状随机变化, 表面往往含有丰富的细节, 很难用传统的解析曲面来描述。常见的景物模拟方法一般有以下两种:

(1) 根据数学函数构造出景物外形, 然后变换时间函数 t , 这类方法可以称为过程动画的方法, 比较典型的是 Fournier^[1] 模拟水波的方法。

(2) 从物体运动的物理原理出发, 一般是求解一组力学方程, 得到质点在各个时刻的状态, 这类方法可以称为基于物理的方法, 比较典型的是 Foster^[2] 的方法。比较而言, 过程动画方法较为简单、计算效率较高, 但效果比较单调, 适用范围比较狭窄。基于物理方法的效果比较真实, 适用范围广泛一些, 但是计算起来非常复杂, 效率比较低。在模拟诸如云、烟、火等不规则模糊物体时, 粒子系统是迄今为止被认为最成功的一种算法。为了方便用粒子系统模拟各种物体, McAllister^[3] 结合 OpenGL, 用 C++ 开发了一套粒子系统 API。利用这套 API 可以很方便地对运动的物体进行动态模拟, 首先将粒子的活动进行简单的分解和描述, 然后对粒子系统进行场景渲染, 结合 OpenGL 提供的一些功能如纹理映射效果, 可以模拟多种自然景物。我们利用这种方法模拟了多种喷泉的效果。

万华根^[4] 基于 N-S 方程的一个特例结合粒子系统来模拟喷泉, 但是他采用的基本粒子是元球造型, 当粒子数目增多时, 渲染较慢。我们采用 Line 方式渲染粒子, 在突出水花效果的同时也能够有较快的速度。

1 系统原理介绍

1.1 粒子系统介绍

粒子系统是 Reeves 在 1983 年提出的迄今为止被认为模拟不规则模糊物体最为成功的一种图形生成算法^[5]。通常用粒子系统绘制画面包括以下几个步骤:

- (1) 产生新的粒子加入系统中;
- (2) 赋予每一粒子一定的属性;
- (3) 删除那些已经超过生命周期的粒子;
- (4) 根据粒子属性的动态变化对粒子进行移动和变换;
- (5) 绘制并显示由有生命的粒子组成的图形。

其中步骤 (3), (4), (5) 不停地循环形成了物体的动态变化过程。

1.2 Particle System API

为了方便粒子系统的运用, McAllister 以 OpenGL 为基础, 利用 C++ 开发了一套 Particle System API。这套 API 具有以下优点: 运行高效、运用灵活、参数独立、升级方便、硬件无关、学习简单等。

该系统共分为五个部分: 粒子组、活动、活动列表、属性和域。所有的粒子都存在粒子组中, 粒子组是一组具有相同作用力的粒子集合。用户可以定义多个具有不同行为的粒子组分别进行调用, 但在某一时刻, 只能有一个粒子组是活动的。活动是粒子组中修改粒子属性的函数。活动列表类似于 OpenGL 中的显示列表, 可以把一系列操作都封装在一个活动列表中, 需要的时候调用相应的活动列表。属性提供了一些函数, 用来修改粒子的颜色、大小和生命周期等属性。域定义了矩形、球体、圆盘、圆柱等一些形状, 使行为函数、属性函数能在域范围

内做定义。

下面的伪代码描述了粒子系统运行的流程:

```
for each particle group j
  pCurrentGroup( j) // 指定 group j 为当前粒子组
  for each time step per rendered frame
    pSource( ...) // 产生新的粒子
    other actions... // 改变粒子组属性
    pMove( ) // 更新粒子位置
  end for
  pDrawGroup( ...) // 绘制粒子
end for
other drawing...
```

1.3 常见的粒子运动模型

粒子运动中粒子产生的时候都具有一定的初始属性, 粒子作为质点, 按照动力学的规律进行运动。以下是几种常见的运动形式:

直线运动。粒子的位置和速度变化遵循下面的原则。

$$P = P_0 + \int V dt, V = V_0 + \int a dt$$

其中 P 为粒子位置, P_0 为粒子初始位置, V 为粒子速度, V_0 为初始速度, a 为粒子加速度。

阻尼运动。在当前运动方向上的粒子根据阻尼的作用, 其速度根据某种比例减少, 一般取 $V = V_0(1 - d \times t)$ 。其中 d 为阻尼运动的阻尼因子, $d \in [0, 1]$ 。

螺旋运动。螺旋运动能按照给定轴进行旋转, 以产生粒子的翻滚等效果, 使速度方向发生改变。

反弹运动。反弹运动能改变粒子运动速度的大小与方向。对于无能量损失的反弹运动, 类似于光的反射

$$V_0 = V - 2(V_0 \cdot N)N$$

其中 N 为反射面的法向量。

2 喷泉模拟算法

要想有好的模拟效果, 首先要构造合适的坐标系。假想观察者的视点位于屏幕正前方, 以喷泉出水的管嘴的中心位置为原点 O , 设置 X 轴正向沿从左至右的方向, Y 轴正向沿从下至上的方向, Z 轴正向为从里至外的方向。

喷泉种类多样, 我们挑选出其中一些具有代表性的进行研究和模拟。下面以图 1 所示的喷泉为例, 说明模拟方法。这个喷泉是从以原点 O 为中心的管嘴中喷出水柱, 经过两次面反射之后落在水池之中。图中虚线段表示的 σ_1 和 σ_2 平面为喷泉的反弹面, 它们的形状和位置可以由用户设置。目前反弹面的形状可以设为矩形或者圆; 粗实线表示喷泉水流的轮廓; 最下方用实线表示的 σ_0 平面为水池表面。在这个例子中, σ_1 与 Y 轴交于原点 O , σ_2 与 Y 轴交于 P_1 点, σ_0 与 Y 轴交于 P_2 点。

2.1 喷泉粒子初始化

首先设定粒子的初始属性, 包括粒子的初始速度、初始位置以及颜色。将粒子的初始速度(v_x, v_y, v_z) 限制在一个圆柱环的域内, 圆柱的轴平行于 Y 轴并且长度很短, 圆柱环的外径和内径也都不大, 这样可以保证粒子以比较稳定的状态变化。

然后设定粒子的初始颜色, 由于是模拟喷泉水流, 设定粒子颜色为白色。现在就可以产生新粒子了, 将粒子产生的位置(x_0, y_0, z_0) 范围限制在 Z 轴上一条很短的直线段上, 这样可以使粒子产生的位置看起来就像从一个很细的管嘴喷出来一样。粒子的位置将按照下面的公式变化:

$$x = x_0 + \int v_x dt$$

$$y = y_0 + \int v_y dt$$

$$z = z_0 + \int v_z dt$$

其中(x, y, z) 是粒子的位置, (x_0, y_0, z_0) 是粒子的初始位置, (v_x, v_y, v_z) 是粒子的速度。

2.2 喷泉粒子运动轨迹

为了设定粒子的行为模型, 首先要确定粒子受力的物理模型, 粒子一直受重力作用, 因此设定粒子在生命周期内一直受 Y 轴负方向的力作用, 也就是给粒子一个沿重力作用方向的加速度。为了有合适的下落速度, 以取得良好的动画效果, 经过多次实验之后针对当前的初速度把加速度的值设置为 0.01, 而非重力加速度为 9.8。

与无能量损失的反弹运动^[6] 不同, 在该模型中有两个重要的参数, 摩擦系数 μ 和反弹系数 ε 。在系统中, 任何粒子的速度矢量 V 都被分解为两个方向的速度分量 V_n 和 V_t , 其中 V_n 是粒子反弹面 σ 的法线方向上的分量, 另外一个分量 V_t 与 σ 相切, 如图 2 所示。经过反弹之后, V_n 被反向, 同时大小乘以反弹系数 ε 得到 V'_n ; 这体现了面的弹力。 V_t 经过反弹之后, 方向不变, 大小乘上 $(1 - \mu)$, 得到 V'_t ; 体现了面的摩擦阻力对反弹的影响, V'_n 和 V'_t 合成就得到了粒子在经过反弹面作用后的速度 V' ; 用公式表示如下:

$$V_n = (V \cdot N)N$$

$$V_t = V - V_n$$

$$V' = (1 - \mu)V_t - \varepsilon V_n$$

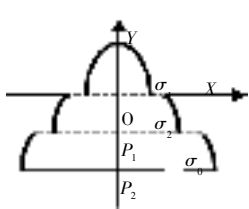


图 1 喷泉形状图示

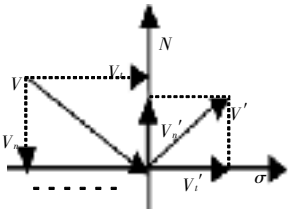


图 2 粒子反弹运动示意图

2.3 粒子的消亡

粒子不能无限制的运动下去, 那样系统中将不会有新粒子产生。可以强制消除系统中处于错误运动轨迹的粒子, 也就是不再有生存需要的粒子。

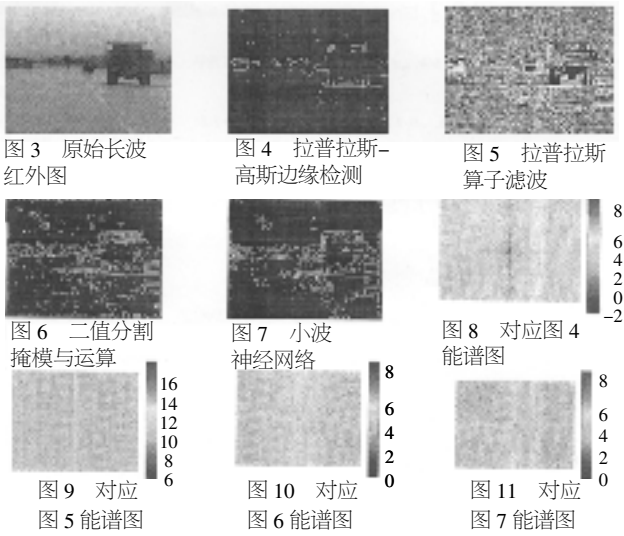
设置一个与 Y 轴正交的平面域, 使运动到该平面下方的粒子全部消亡。平面由平面上地特征点 O 和法线方向 N 确定, 在图 1 所示的例子中, 特征点设置为 P_2 点, 法线方向设置为 Y 轴正方向。

2.4 喷泉绘制

粒子系统的产生、运动和消亡都确定之后, 就可以进行喷泉的绘制工作了。考虑到粒子系统水花四溅的特性, 在绘制粒子的时候, 我们采用 Line 方式, 而不是采用传统的 Point 方式。Line 方式就是将粒子的原始位置和根据粒子速度计算出来的粒子下一时刻位置用直线连接, 这样可以模拟出水粒子模糊的效果。图 3 和图 4 分别是在粒子数目相同时采用 Line 方式和采用 Point 方式绘制喷泉效果的对比, 可以很明显地看出采用 Line 方式模拟的效果更加逼真。

3 实验结果

心点上,这种分布特征主要是由于背景信号引起的;对二值分割掩模与运算,高值能量沿中轴的分布比较明显,但由于背景小目标(由热象仪的坏像素引起)的影响,使得中值能量在中轴附近的分布比较分散,不利于对主要目标的分类和分割处理;经小波神经网络算法处理的图像的高值能量分布以中心点沿两轴向外辐射,而且各象限的能量分布基本处于低值状态,坏像素小目标的数量得到抑制,这非常有利于对主要目标的图像分割和识别。



4 结论

基于小波神经网络算法的图像分割技术非常适合于动态红外目标以及杂散背景条件下目标轮廓特征的提取,它能够在保留目标图像的高频特征的同时抑制目标杂散背景信号。从能量频谱的角度而言,经过小波神经网络处理后的红外目标图像的能量频谱能够按照目标红外辐射的能级分布域描述,避免了图像边缘提取算法中对目标域内的细节特征(高频分量)不

能充分表征的缺陷。但该算法同时也对杂散背景信号进行处理,使杂散背景信号得到一定程度上的扩张,这有待于进一步改善。

参考文献:

[1] yed A Rizvi. A Clutter Rejection Technique for FLIR Imagery Using Region-based Principal Component Analysis[C] . Part of the SPIE Conference on Automatic Target Recognition IX · Orlando Florida, 1999. 57-66.

[2] Daubechies I. The Wavelet Transform, Time-frequency Localization and Signal Analysis[J] . IEEE Trans, Inform. Theory, 1990, (36) : 960-1005.

[3] Qinghua Zhang, Benvensiste A. Wavelet Networks[J] . IEEE Trans. NN, 1992, 3 (6) : 889-898.

[4] 李弼程. 小波分析及其应用[M] . 北京: 电子工业出版社, 2003. 130-144.

[5] 阎平凡. 人工神经网络与模拟进化计算[M] . 北京: 清华大学出版社, 2003. 344-352.

[6] А И 加卢什金 . 神经网络理论[M] . 北京: 清华大学出版社, 2002. 140-202.

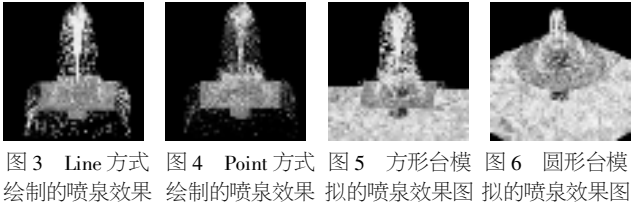
[7] Bento Correia. Automatic Detection and Recognition of Stationary Motorized Vehicles in Infrared Images[C] . Part of the SPIE Conference on Automatic Target Recognition IX · Orlando Florida, 1999. 140-151.

[8] Hayit Greenspan. Image Enhancement by Nonlinear Extrapolation in Frequency Space[J] . IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9 (6) : 1035-1048.

作者简介:

李朝晖(1960-), 男, 青岛人, 研究员, 博士生, 主要从事军用目标特性研究、图像处理、检测技术与自动化装置; 陈明(1939-), 男, 南京人, 教授, 博士生导师, 主要从事智能检测技术与自动化装置教学与研究。

(上接第 245 页) 1. 7GHz 处理器, Sis 650 显卡, 256MB 内存) 上利用标准 OpenGL 图形库实现的, 效果良好, 速度能够达到 20pps。图 5 和图 6 是分别用方形台和圆形台进行模拟得到的效果图。



4 结论和将来的工作

以粒子系统为基础,采用 Line 方式取代传统的 Point 方式渲染粒子,结合 Particle System API 和纹理映射实现喷泉的模拟,并且用户可以根据需要调整喷泉的形状和参数。今后的工作是加入风力等因素,以及采用色彩融合等方法,实现更加逼真的效果。

参考文献:

[1] ournier A, Reeves. W T A Simple Model of Ocean Waves[J] . Computer Graphics, 1986, 20(4) : 75-84.

[2] Foster N, Metaxas D. Realistic Animation of Liquids[J] . Graphical Models and Image Processing, 1996, 58(5) : 471-483.

[3] D C McAllister. Documentation for Particle System API [EB/OL] . http: //www. cs. unc. edu/ ~davemc /Particle/, 1999.

[4] 万华根, 金小刚, 彭群生. 基于物理模型的实时喷泉水流运动模拟[J] . 计算机学报, 1998, 21(9) : 774-779.

[5] Reeves W T. Particle Systems-a Technique for Modeling a Class of Fuzzy Objects[J] . Computer Graphics, 1983, 17(3) : 359-376.

[6] K Sims. Particle Animation and Rendering Using Data Parallel Computation[J] . Computer Graphics, 1990, 24(4) : 405-413.

作者简介:

赵静谧(1981-), 男, 湖北当阳人, 硕士生, 研究方向为自然景物模拟; 张慧(1974-), 女, 江苏无锡人, 博士, 研究方向为计算机辅助设计与图形学; 郑国勤(1967-), 男, 浙江文成人, 副教授, 研究方向为计算机辅助设计。