

文章编号:1001-9081(2009)12-3381-04

基于新分布域和叠加纹理的飘雪模拟

王剑锋¹, 万明秀², 陈 焱³

(1. 河北科技师范学院 计算机系, 河北 秦皇岛 066004; 2. 新余高等专科学校 计算机系, 江西 新余 338000;

3. 燕山大学 信息科学与工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

(chenyanmm-777@163.com)

摘 要:针对传统的基于粒子系统的飘雪模拟中, 粒子数量大、实时性差, 且造成很多视线之外不可见粒子的资源浪费等不足, 提出了一种基于新分布域和叠加纹理的飘雪模拟方法。在分布域的优化上, 采用新的层次分布域来产生粒子, 同时引入了叠加纹理的概念, 并结合 LOD 技术, 对不同 LOD 层次上的粒子采用不同的叠加纹理, 最后在粒子消亡的判断条件上采用了局部判断的新算法。该方法在不影响真实感的情况下减少了计算量, 有效提高了虚拟场景中飘雪模拟的逼真度和实时性。

关键词:飘雪; 粒子系统; 层次细节; 新分布域; 叠加纹理

中图分类号:TPP391.9 **文献标志码:**A

Simulation of falling snow based on new distribution of domain and superimposed texture

WANG Jian-feng¹, WAN Ming-xiu², CHEN Yan³

(1. Department of Computer Science, Hebei Normal College of Science and Technology, Qinhuangdao Hebei 066004, China;

2. Department of Computer Science, Xinyu College, Xinyu Jiangxi 338000, China;

3. College of Information Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao Hebei 066004, China)

Abstract: A simulation of falling snow based upon new distribution of domain and superimposed texture was proposed to overcome the disadvantages of large calculative quantity and poor real-time capability in traditional particle system. To optimize the distribution of domain, the new distribution of domain was used to launch the particle. The paper presented the concept of superimposed texture; then, adopted Level Of Detail (LOD) technology and used different superimposed texture on the different levels; at last, the new algorithm was also used to determine if the particle should be deleted. This new method reduces the calculative quantity while not affecting the reality, and also effectively improves the fidelity and real-time quality of falling snow simulation in large-scale scenes.

Key words: falling snow; particle system; Level Of Detail (LOD); new distribution of domain; superimposed texture

0 引言

飘雪的模拟一直是计算机仿真领域中既热门又具有挑战的一个重要内容。由于飘雪的不规则性和雪花运动轨迹的随机性, 很难用传统的物理建模的方法来模拟, 针对这类现象, 目前主要通过粒子系统^[1]的方法来解决, 但传统的粒子系统方法所需的粒子数量较多且算法复杂, 不能满足实时性的要求, 这也是国内外科研人员一直着力解决的问题。文献[2]采用三维逆傅里叶变换对场景图像进行处理, 并用一系列二维图像序列重建出飘雪的场景, 但该方法实际上是一种图像处理的方法, 由于没有考虑风雪交互作用, 真实感不强。文献[3]中提出了基于粒子系统的雪花降落的实时模拟生成算法, 但文章中雪花粒子的运动较为简单, 并且没有分析雪花粒子的受力情况, 生成的画面较为粗糙。文献[4]提出了将雪粒子的产生区域简化为视点前的一个长方体, 利用长方体随视点一起运动从而使起点始终在视点前的方法来减少粒子数量。但文中没有考虑当视点转动时, 会出现部分区域下半部分没有粒子的现象。文献[5]将层次细节 (Level Of Detail,

LOD) 技术加入到飘雪的模拟中, 起到了很好的层次效果, 但文章只是在不同的层次上产生的粒子数量不同, 没有考虑到不同层次上粒子的大小、颜色、亮度等属性的差别。文献[6]在雪粒子的形状方面, 在距离视点较近的位置采用两个垂直交叉的带有透明纹理的四边形, 距离视点较远的位置则采用普通的四边形面粒子, 在一定程度上增加了真实感。在粒子消亡的判断条件上, 文献[7]通过判断雪粒子是否接触地面作为粒子消亡的条件, 文献[6]在此基础上增加了粒子超出粒子分布域即为死亡这一条件, 减少了很多不必要的粒子的存在。但文中的方法需要对每个粒子都进行条件判断, 对一些不可能超出分布域的粒子也做了判断, 增大了计算量, 是需要改进的。本文在粒子系统的基础上提出了一种新的飘雪模拟方法, 进一步解决了前面所提到的问题, 并引入了叠加纹理等方法, 提高了实时性, 视觉效果较好。

1 飘雪模型的建立和模拟

1.1 粒子分布域的选取

在飘雪的实时模拟中, 如何用相对较少的粒子数来模拟出较为逼真的飘雪场景, 是选取粒子分布域的一个重要准则。

收稿日期: 2009-06-04; 修回日期: 2009-08-07。

作者简介: 王剑锋 (1977-), 男, 河北秦皇岛人, 讲师, 硕士, 主要研究方向: 计算机图形学、虚拟现实、计算机仿真; 万明秀 (1969-), 女, 江西南昌人, 副教授, 硕士, 主要研究方向: 虚拟现实、多媒体技术; 陈焱 (1985-), 男, 河北秦皇岛人, 硕士研究生, 主要研究方向: 虚拟现实、计算机仿真。

遵循这一基本准则,人们对飘雪粒子的分布域进行了简化,比较有代表性的是文献[7]提出的将粒子系统的分布域选在视锥内的一个长方体内,粒子的生成面为长方体的上表面,其次是文献[5]使用的圆形粒子发射器,但这样的设计会造成超出视线范围以外的长方体产生的粒子不可见,造成粒子的资源浪费。针对这一问题,本文提出用多个长方体按层次组成的类锥形的几何体作为飘雪粒子的分布域(如图1所示)。

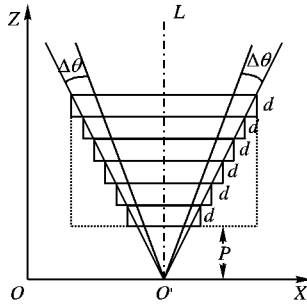


图1 粒子分布域示意图

一方面,此几何体的形状接近了视锥体,能使大部分粒子分布在视锥体内,大大减少了不可见粒子的浪费,图1中虚线为采用长方体上表面作为分布域所需的面积大小,从中可以看出大约节省了1/3的粒子数量;另一方面,层次的组成方式可以方便地对分布域进行层次的划分,为后来要用到的LOD技术提供了方便。当存在视点转动的情况时,如果粒子也跟着视点转动,会产生雪粒子不改变,背景发生移动的失真现象,如果粒子不跟着分布域转动,在视点转动较快时,又会出现部分区域没有雪粒子的情况。本文通过扩大视线的角度来解决,设增加的角度为 $\Delta\theta$, H 为分布域的高度, V_{speed} 为粒子的平均下降速度, MaxRotate 为视点转动的最大角速度,则:

$$\Delta\theta = \frac{H \cdot V_{\text{speed}}}{\text{MaxRotate}}$$

这样,当视点转动到任一位置时,粒子都有足够的时间在视点到达之前产生并下降,图1中每个长方形可由其中心点在X、Z轴方向上进行延伸得到,生成的算法较为简单,各中心点的连线称之为中心线 L 。上述分布域的设计很好地解决了粒子资源的浪费以及视点运动的问题。

1.2 LOD技术的应用

LOD技术的原理是根据景物距视点的距离远近采用不同层次模型绘制,针对飘雪这类场景,结合人在视觉上的特点(人仅对距离双眼焦点附近的物体感觉比较清晰,焦点以外的物体则会感到相对模糊),对雪粒子进行层次划分(假设把雪粒子分成 n 个层次,如图1)。在做前面建立粒子分布域工作的时候,把每个长方形作为雪粒子的一个层次,距离视点较近的层次,其粒子产生的密度较大,且粒子的大小也相对较大,亮度也相对亮些,其中的粒子密度主要是由各层次产生粒子的数量来体现的。为了保证其间粒子属性的平滑过渡,其中的关系及计算公式可用下列方法表示:设各长方形的宽度均为 d , n 表示长方形的个数(即划分的层数), p 表示视点到离它最近的层次的距离, Δs 表示相邻层次的长方形面积的增量(由于分布域的大小是事先设定的,因此 Δs 是一个常量), N 表示该层的粒子数量。设第一层次(离视点最近的层次)粒子的密度为 ρ_1 ,粒子的大小为 Size_1 ,亮度为 Light_1 ,数量为 N_1

则第 m 层粒子的密度为:

$$\rho_m = \frac{\rho_1 \cdot (P + d)}{P + m \cdot d}$$

大小为:

$$\text{Size}_m = \frac{\text{Size}_1 \cdot (P + d)}{P + m \cdot d}$$

亮度为:

$$\text{Light}_m = \frac{\text{Light}_1 \cdot (P + d)}{P + m \cdot d}$$

数量为:

$$N_m = \rho_m \cdot \left[\frac{N_1}{\rho_1} + (m - 1) \cdot \Delta s \right]$$

1.3 叠加纹理

在现实生活中,人们见到的飘雪的一个粒子是由成百上千个小的雪花晶体构成的,一个粒子上小的雪花晶体越多,则形成的粒子越大。然而在传统的飘雪模拟方法中,常把一个雪花晶体就看成一个飘雪粒子,在描述较大粒子的时候,则仅仅是通过简单放大这个晶体纹理来实现,当粒子的纹理放大到一定程度时,会显得特别失真,影响整体效果。针对这一问题,提出了叠加纹理的方法,根据需要模拟的雪粒子的大小,选择不同数目的雪花晶体纹理进行叠加,做成叠加纹理如图2所示。

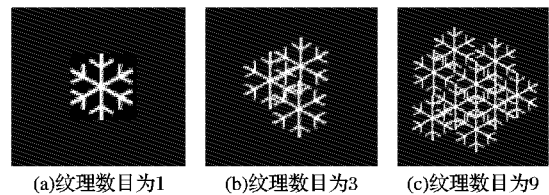


图2 含不同雪花晶体纹理数目的叠加纹理

由于采用了LOD技术,所以距离视点近的粒子所采用的叠加纹理中所需的雪花晶体纹理较多,距离视点较远的则相反。设每个粒子的叠加纹理所含的雪花晶体纹理数目为 N ,粒子的大小为 S ,为了使各个粒子上的纹理分布均匀,令 N/S 为常量 K ,则可利用这一关系确定不同层次的粒子上叠加纹理中晶体纹理的数目,从而选择合适的叠加纹理,设第一层次上的粒子的大小为 Size_1 ,则第 m 层次上的粒子所用的纹理含有 $K \times \text{Size}_1 \times (P + d) / (P + m \times d)$ 个晶体纹理。另外,在制作叠加纹理上,为了体现不规则性,同一层次上的叠加纹理虽然所含的晶体纹理数目一样,但采用不同的叠加方法会产生不同的纹理效果,例如如图3所示。

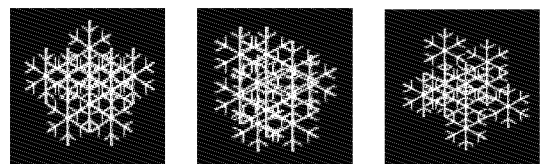


图3 含雪花晶体纹理数目均为10时的叠加纹理

三片均是包含10个晶体纹理的叠加纹理,使它们在同一层次上随机出现,不仅保证了纹理分布的均匀性,又体现了不规则性。叠加纹理的应用没有增加粒子的面片数,也没有改变雪粒子的运动方程(其运动方程仍然是使用简单晶体纹理时的运动方程),只是使雪粒子看起来更加真实,因此在不影响实时性的同时增强了飘雪场景的逼真程度。

1.4 飘雪粒子的运动方程

在现实生活中,雪粒子的飘落是一个十分复杂的过程。粒子在飘落过程中,不仅受重力的作用,还受空气阻力、温度、光照、风力等诸多因素的影响^[8],且这些因素又是不恒定的,如果十分精确的对其进行模拟绘制,则算法十分复杂,不仅使系统工作量加大,对显示效果的改进也不是十分明显。因此,用简化的方法来描述飘雪,既提高了实时性,又能满足画面真实感的要求。

本文在粒子产生的时候,为粒子在 X 、 Y 、 Z 方向上分别给出了一个随机的初速度 V_x 、 V_y 、 V_z 。

$$V_x = V_{\text{平均速度}} + \text{rand}() \times V_f$$

$$V_y = V_{\text{平均速度}} + \text{rand}() \times V_f$$

$$V_z = V_{\text{平均速度}} + \text{rand}() \times V_f$$

其中: $\text{rand}()$ 为 $(-1, 1)$ 的实数, V_f 为速度的方差。

其次对不同层次的粒子的大小属性 $Size$ 进行初始化,粒子的质量 M 与粒子的 $Size$ 属性成正比,设比例系数为 K_0 ,即:

$$M = K_0 \times Size$$

之后分析讨论三个坐标轴方向上的受力情况: X 轴即为粒子的左右方向,在 X 轴方向上,粒子主要受到风力与空气阻力的影响。其中的 $F_{\text{风}}$ 为系统随机给出的风力在 X 轴方向上的分力,可通过随机函数给出, X 轴方向空气阻力 $F_{\text{阻}}$ 与该方向上粒子的速度成正比,设之间的比例系数为 $K_{\text{阻}}$,则:

$$F_{\text{阻}} = K_{\text{阻}} \times V_x$$

所以 X 方向上粒子所受的合外力为:

$$F_{x\text{合}} = F_{\text{风}} + F_{\text{阻}} = F_{\text{风}} + K_{\text{阻}} \times V_x$$

令 Δt 为相邻两帧之间的时间间隔,则对于 t 时刻粒子的速度:

$$V_{xt} = V_{x(t-1)} + a \times \Delta t =$$

$$V_{x(t-1)} + \frac{F_{\text{风}} + K_{\text{阻}} \times V_x}{K_0 \times Size} \times \Delta t$$

同理,粒子在前后方向上即 Z 轴方向上的受力情况与 X 轴的算法一样。

在 Y 轴方向(垂直方向)上,粒子不仅受风力、空气阻力的作用,还受到重力的作用,因此粒子在 Y 轴方向所受的合力为:

$$F_{y\text{合}} = F_{\text{风}} + F_{\text{阻}} + G_{\text{重力}} =$$

$$F_{\text{风}} + K_{\text{阻}} \times V_x + K_0 \times Size \times g$$

所以

$$V_{yt} = V_{y(t-1)} + \frac{F_{\text{风}} + K_{\text{阻}} \times V_x}{K_0 \times Size} \times \Delta t + g \times \Delta t$$

因此可以求出飘雪粒子的位置坐标为:

$$S_{(t)} = S_{(t-1)} + V_{(t)} \times \Delta t$$

1.5 飘雪粒子的消亡

对于雪粒子的消亡条件,主要通过判断粒子是否落到地面或者是否超出了限定的区域。满足上述条件之一,则将粒子删除。对于前者,可通过检测粒子的高度坐标是否低于地面坐标来判断,若低于,则使粒子死亡;对于后者,针对本文提出的粒子分布域的特点,通过以下方法来判断粒子是否越界:设粒子在 X 方向上超出其所在的层次的长方形区域即为越界。

首先,判断粒子到中心线的距离 dr 是否在 S_1 和 S_n 之间

(S_1, \dots, S_n 为各层次的长方形的长的一半),若超出这个距离,则表明粒子越界;若不超出,则用 dr 的值与各层次长方形的长度的一半做比较来判断理论上粒子应该在的层次数。最后根据粒子的大小 $Size$ 属性来判断粒子是否在这个层次上,若不是,则表明粒子越界,消除粒子。

在传统的粒子消亡判断中,往往都是对每个粒子都进行条件判断,而对于很多由于其自身属性的限制不可能超出边界的粒子来说,这种判断是没有必要的,不仅增加了系统的计算量,还影响了整体的实时性。因此,提出了一种新的消亡判断方法,即并不是对每个粒子都进行判断,仅对有可能越出边界的粒子进行判断。

由于在模拟飘雪的场景中,雪粒子从发射点到落地点之间的水平差距并不大(图 4 中所示为 $C'E'$),如图 4 所示,多边形 $ABCD$ 为粒子的分布域,多边形 $A'B'C'D'$ 为雪粒子在风力最大的情况下可能落到的地面区域。相对于视点来说,图 4 中黑色区域为越界的粒子的产生区域,而这部分又是由图 4 中黑色区域产生的,在实际的编程实现中可以通过二级粒子系统的方法来锁定黑色区域产生的粒子。即在粒子产生的时候白色区域的粒子由粒子系统 1 产生,黑色区域的粒子由粒子系统 2 产生。虽然采用了二级粒子系统的方法,但这两个粒子系统的属性设置完全相同,只是用不同的名称加以区别,并没有增加粒子的总体数量,所以不会增加计算量。判断的时候,只需判断粒子系统 2 所产生的粒子是否越界即可,并且粒子在 Z 轴的方向上不存在越界现象,因为粒子在 Z 轴上的运动总是可见的,只需考虑其在 X 轴上是否超出了该粒子所在层次的横坐标限制即可,粒子系统 1 产生的粒子均不需要进行判断。这种方法大大减少了计算量,特别是在外界环境中风力比较小的情况下,粒子的水平距离差 $C'E'$ 也比较小,则所需要进行消亡判断的黑色区域的粒子也越少,减少了系统不必要的开销,有效地提高了系统的实时性。

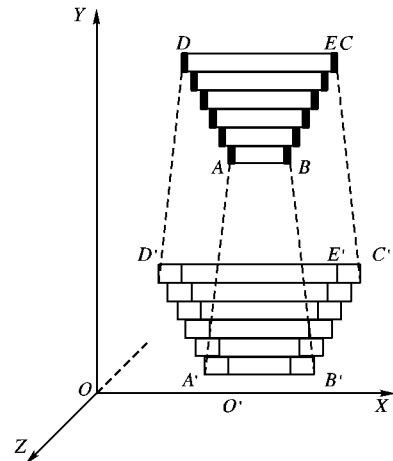


图 4 粒子消亡条件判断示意图

1.6 纹理映射与布告板技术

本文用矩形面片作为雪粒子的基本形状,采用纹理映射技术将二维的图片映射到矩形上,所用的纹理图片为透明纹理,即去掉图片中黑色的背景,仅保留白色的雪花形状,再做成叠加纹理映射到矩形上。

由于系统采用矩形面片进行的纹理映射,当粒子转过一定的角度或者观察的视点移动时,可能正好看到纹理图片的侧面,出现不可见的现象,故采用布告板技术^[9],使纹理图片随着视点的移动而移动,使其始终在视点的正前方。

2 飘雪场景的绘制

在粒子系统的基础上,基于 VC++ 和 OpenGL 平台对算法进行了模拟。首先,利用有层次的分布域来发射粒子,各层次分布域根据所在层次的特点对粒子属性进行初始化;其次,随着时间的推移,粒子在下落过程中根据其运动方程不断改变所在位置;最后,对粒子的消亡条件进行判断,待粒子落到地面或超出边界区域的时候,使其消亡,产生新的粒子。由于使用了 LOD 和叠加纹理的技术,有效增加了画面的逼真度。

图 5 所示为没有使用叠加纹理仅使用 LOD 技术的效果图,可以清楚的观察到较大片的雪花只是对单个纹理进行简单的放大,很失真。



图 5 未采用叠加纹理的效果

图 6 所示为使用叠加纹理和 LOD 技术的效果图,由于叠加纹理使粒子的大小和纹理之间的过渡很平滑,视觉效果较为理想。因为采用新的层次分布域发射粒子,减少了粒子资

源的浪费。

图 7 所示为在相同密度分布的情况下,新的层次分布域仅用 390 个粒子就可达到四边形分布域 800 个粒子所达到的分布密度。表 1 为各种方法的比较,体现了新的消亡判断条件与纹理叠加方法对场景实时性和逼真度的影响。该飘雪场景使用了 390 个粒子在个人计算机上(P4 2.66 GHz,512 MB 内存,128 MB 显卡),达到了 31 fps 左右的刷新率,能够满足模拟场景飘雪真实性和实时性的要求。

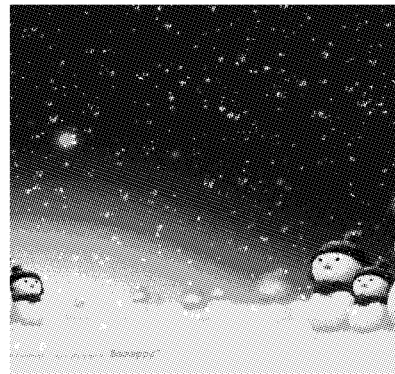


图 6 采用叠加纹理的效果

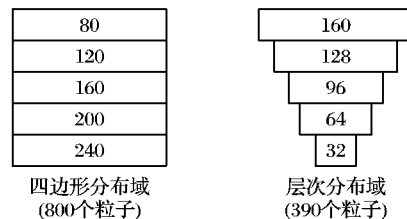


图 7 相同密度分布层次分布域对粒子数量的优化

表 1 相同密度分布情况下各种方法的比较

分布域的名称	粒子数	LOD 层次数	是否采用新的消亡判断	是否采用叠加纹理	频率/fps	实时性	逼真度
四边形分布域	800	5	否	否	20	差	差
			否	是	20	差	优
			是	否	24	中	差
			是	是	24	中	优
层次分布域	390	5	否	否	27	良	差
			否	是	27	良	优
			是	否	31	优	差
			是	是	31	优	优

3 结语

基于粒子系统的飘雪模拟方法,传统的分布域所产生的粒子数量大、计算复杂,且造成很多视线之外不可见粒子的资源浪费,很难应用到实时性要求较高的虚拟场景中。提出了一种基于新分布域和叠加纹理的飘雪模拟方法,新分布域的提出尽可能减少了不必要粒子的产生,叠加纹理的引入又在不增加计算量的同时,提高了飘雪场景的逼真度,同时还采用了 LOD 等技术对算法进行优化,取得了较为理想的仿真效果。该方法能满足大规模场景的环境效果仿真,且已经在虚拟战场仿真领域上得到了应用。

参考文献:

[1] REEVES W T. Particle systems — A technique for modeling a class of fuzzy objects [J]. Computer Graphics, 1983, 17 (3): 359 - 376.

[2] LANGER M S. A spectral-particle hybrid method for rendering falling snow [EB/OL]. [2009 - 04 - 10]. http://www.cim.mcgill.ca/~langer/MY_PAPERS/Langer-EGSR04.pdf.

[3] 谢剑斌,郝建新,蔡宣平,等.基于粒子系统的雨点和雪花降落模拟生成[J].中国图象图形学报,1999,4(9):734-737.

[4] 王润杰,田景全,倪政国.基于粒子系统的实时雨雪模拟[J].系统仿真学报,2003,14(4):495-501.

[5] 陈华杰,余小清,唐景洲,等.基于粒子系统与 LOD 技术的实时雨雪效果模拟[J].计算机仿真,2008,25(4):194-197.

[6] 王顺领,李学庆,王善斌,等.虚拟场景中的实时降雪模拟[J].计算机技术与发展,2006,16(3):152-157.

[7] 伍艳莲,赵青松,刘金定.基于粒子系统的降雪过程模拟[J].西华大学学报,2008,27(1):91-96.

[8] 贺怀清,薛军涛.一种大场景环境下降雪和积雪仿真的新方法[J].中国图象图形学报,2007,12(9):1676-1681.

[9] 杨述华,廖守亿,王仕成,等.基于粒子系统和 Vega 的实时雨雪模拟[J].计算机应用,2008,28(Z1):238-240.