

文章编号: 1007-2780(2013)06-0933-06

基于粒子系统的流体视频合成方法的研究与实现

陈佳豫¹, 刘金国¹, 彭 琦², 赵 莹¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033, E-mail: jiayu_ya@163.com;

2. 东北师范大学 留学生教育学院, 吉林 长春 130024)

摘 要: 为了得到永恒、连续、更高真实感的流体视频, 分析已有视频合成技术, 提出了一种基于粒子系统的流体视频合成方法。该方法针对具有持续流动模式的流体, 在保持其自然外观和复杂性的同时, 将具有固定长度的视频样本编辑成为具有新的形态的更加真实、有生气的任意长度的无缝视频。首先, 分析视频样本中粒子的运动规律, 将输入序列用粒子纹理矩阵表示; 其次, 改变粒子纹理矩阵内容, 生成新的播放序列; 再次, 应用已得到的新的粒子状态信息, 在新的区域编辑合成新的播放序列, 得到更加真实生动的流体视频; 最后, 利用这一算法开发了流体视频合成编辑器软件, 并应用到视频样本上。实验结果表明, 这种基于粒子系统的流体视频合成方法不仅合成速度快, 合成的视频纹理效果更好, 并且易于实现。

关 键 词: 粒子系统; 流体; 视频样本; 粒子纹理; 视频合成

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3788/YJYXS20132806.0933

Research and Implementation of Particle System Based on Continuous Flow Video Synthesis Method

CHEN Jia-yu¹, LIU Jin-guo¹, PENG Qi², ZHAO Ying¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,

Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China, E-mail: jiayu_ya@163.com;

2. Changchun School of Overseas Education, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: In order to get eternal, continuous and active continuous flow video, analyzing several video synthesis technologies, this paper presents a new particle system based on continuous flow video synthesis method which could process sample videos of continuous flow, and synthesize more realistic seamless video of arbitrary length than other algorithms. Based on the particles movement rules in the video sample, the input sequence is represented by particle texture matrix. The particle texture matrix is modified, and new sequence is synthesized. A new particle texture matrix is edited to new region and more realistic and active flow video is synthesized. The continuous flow video synthesis editor software is developed by this way, and is applied to video sample. The experimental results show that this synthesis method has the characteristics such as the higher speed calculation, better synthetic effect than before, and it is easy to implement.

Key words: particle system; continuous flow; sample video; particle textures; video synthesis

收稿日期: 2012-09-27; 修订日期: 2013-04-09

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(No. 2008AA121803)

作者简介: 陈佳豫(1977—), 女, 吉林长春人, 博士, 副研究员, 主要从事软件工程、图像处理等方面的研究。

1 引 言

很多的自然现象都是流动的,比如水流、火焰、瀑布及烟等,它们的形态每时每刻都是处于不断的变化当中,但从整体形状上看它们是属于相对稳定变化的自然现象。对于这一类的自然现象,我们统一将之称为流体^[1]。如果先拍摄得到它的一段视频样本,如何得到更加真实、生动的具有任意长度的视频,是当前在计算机图形学里的一个很活跃的研究领域。本文对视频合成方法进行研究,提出了一种基于粒子系统的流体视频合成方法,并利用这一算法开发了流体视频合成编辑器软件。针对瀑布、河流这类自然现象,可以利用它生成较之前的算法更加真实、有生气的具有持续流动模式的视频纹理。

2 相关理论的研究

2.1 粒子系统

1983 年 Willaim T. Reeves 首次提出了粒子系统(particle system)的概念,即由大量粒子集合在一起以表现模糊物体的系统^[2]。其基本思想是把模糊物体定义为由成千上万个运动的、不规则的、随机分布的粒子组成的粒子集,每个粒子均有一定的生命周期及属性(如颜色,形状,大小,速度等),它们不断改变形状不断运动,从而表现出景物的总体形态和特征的动态变化。也就是说,粒子系统是用基本粒子群来描述物体的属性及其变化的。这些基本粒子可以是一个像素,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。

2.2 视频纹理

视频纹理是以视频样本为素材而进行分析的基础上,构造出永恒、连续、高真实感的虚拟场景^[3]。视频纹理合成的过程就是对视频纹理进行分析,获取非线性播放依据的过程。通常可以把视频纹理合成看作纹理合成的一种扩展。因为从动态系统的角度,合成的纹理和样本纹理都是由同一个系统输出的,只是尺寸不同,特征完全相同。只是视频样本具有固定的时间长度,而视频纹理的时间长度可以无限长。因此视频纹理有着更高的应用价值以及更好的应用前景。

当前主要的视频纹理合成技术有:

(1)基于物理的仿真方法。它是用算法直接

模仿物理生成过程^[4]。但由于需要定义的参数多,计算量大,并且不同纹理的产生要用到不同的物理过程,使这种方法的应用具有一定的局限性。

(2)基于纹理合成的扩展方法。是将二维图像纹理合成算法中的实体替换为三维实体,对每帧内容重新合成得到一组视频的方法^[5]。它合成速度快,但不适合处理具有较多细节的自然纹理。

(3)视频纹理算法。通过找出视频样本中合适的跳变点剔除冗余帧,来将小段视频创建成长视频^[3]。该方法不改变帧内容,但是对于有些视频跳变点不易选择,仅适合合成相对简单的运动。

(4)图形剪切算法。是针对视频纹理算法在处理流体运动视频时,跳变点不易选择的问题,将跳变点处的两帧在最小误差缝隙处合并后进行播出,得到更加自然的流体运动视频的方法^[6]。

(5)基于流动视频合成算法。Kiran S. Bhat 等人将沿着用户定义流线运动的视频样本,合成了具有任意长度的视频纹理^[1]。这种方法实现起来更简单,合成的速度也更快,更具推广性。

在本文中我们就是利用粒子系统的特征,将自然现象看作由一系列的粒子组成,在基于流动视频合成算法的基础上,结合图像剪切算法在最小误差缝隙处合并的思想,改进得到了一种流体视频合成算法。该方法可通过多次编辑,得到具有新的形态的更加真实生动的流体视频。

3 算法实现

3.1 算法基本思想

以一段瀑布视频样本为例,按图 1 所示的合

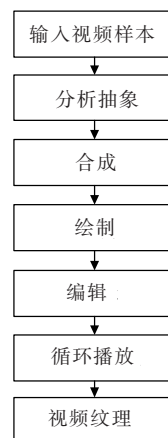


图 1 流体视频合成算法的合成过程

Fig. 1 Synthesis process of continuous flow video synthesis method

成过程对视频样本进行合成。

(1) 对视频中流体的分析抽象

粒子系统中每个粒子都要经历“出生”、“运动和生长”及“死亡”三个阶段^[2]。瀑布中一个个水滴的生命周期与之相似,因此首先把这类自然现象用沿着固定流线运动的粒子来抽象描述,如图2从瀑布视频中一帧提取出的粒子运动情况所示。

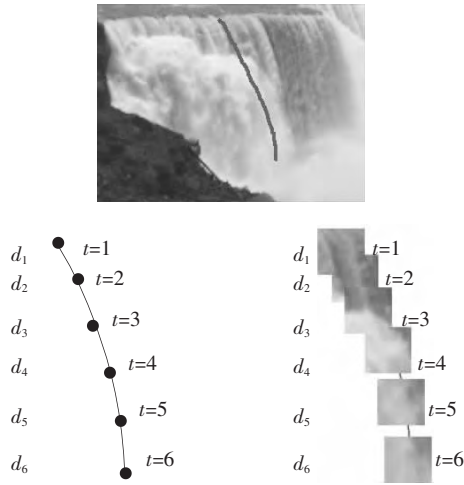


图2 粒子纹理的运动

Fig. 2 Movement of particle texture

(a) 定义粒子纹理

如图2(a)在输入视频的第1帧图像上画一条沿着瀑布水流方向的流线。流线上的圆点代表一个粒子沿流线在不同时刻 t 运动到的不同位置 d ,如图2(b)。每个粒子有与之相关联的纹理,即粒子纹理^[1],如图2(c),在流线的开始点定义一个 $m \times n$ 像素的粒子纹理块,在接下来的各帧中,该粒子纹理近似地沿这条流线运动并逐渐改变。

(b) 确定粒子纹理下一时刻的最佳位置 d

由于粒子受重力影响作变速运动,它在下一时刻中的纹理也发生了变化(如图2(c))。为确定粒子纹理下一时刻的最佳位置 d ,在下一帧图像中,从初始点向下沿流线寻找与当前粒子纹理最匹配纹理块^[7-10]。利用最小二乘方法^[11]的原理应用 L_2 距离来进行匹配:

$$F_{\text{similar}} = \sqrt{\sum_{m=1}^k \sum_{n=1}^l [(R(p_{s_j}^{mm}) - R(p_{s_j}^{nn}))^2 + (G(p_{s_j}^{mm}) - G(p_{s_j}^{nn}))^2 + (B(p_{s_j}^{mm}) - B(p_{s_j}^{nn}))^2]} \quad (1)$$

式中 S_i 和 S_j 为两个给定的 $m \times n$ 区域(取 $m=n=12$), k, l 为区域的宽和高, $p_{s_j}^{mm}$ 表示在区域 S 中坐标为 (m, n) 的像素点。

(c) 重复步骤b,找到该粒子纹理在各帧中的最佳位置 d_i 。

接下来寻找粒子纹理的运动规律。定义矩阵 $M(d, t) = (p, f)$ 描述各个粒子纹理沿定义的流线运动过程^[1],对应绘制输入序列中沿一条流线运动的粒子矩阵做简单循环播放的图示如图3。图中每个表格中的数字即为所对应的帧数 f ,同一图案的数字代表同一粒子 p , d 表示粒子所处的位置, t 为时刻。从图中可以清楚地看到粒子在顺序播放各帧中的运动情况,如在第1帧中“出生”的深灰色粒子位置为 d_1 ,它在第2帧运动到 d_2 ,在第3帧结束时“死亡”。由此得出:流体视频中沿流线运动的粒子纹理是沿梯形线运动。

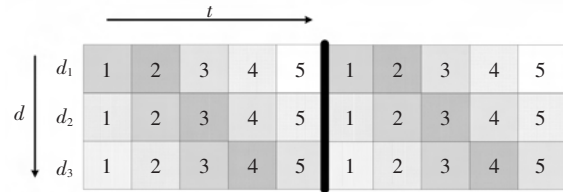


图3 简单循环播放的粒子矩阵

Fig. 3 Particle matrix in simple loop playing

(2) 视频合成

由于图3中的5帧序列做简单的循环播放,从第5帧到第6帧时,白、十字格、斜条图案的3个粒子同时消失,取而代之的是深灰、星点、竖条3个新粒子。这种纹理的突然改变,给观察者造成明显的不连续感。如图4对矩阵 $M(d, t)$ 的内容做一个简单的修改,即重复播放原矩阵中位于前 k 个对角线的粒子^[1]。这样沿黑线处的每列只有一个空间不连续的粒子,而且每个粒子都能完成其完整的路径,保证了瞬时连续性。这种“阶梯不连续”更不容易被观察者察觉。

但随着视频帧数及粒子纹理运动位置的增加,



图4 第一次修改后循环播放的粒子矩阵

Fig. 4 Modified particle matrix in loop playing

“阶梯不连续”问题会变得严重,如图 5 视频序列有 12 帧,可以观察到图中第 9 帧中有 2 个粒子纹理与原帧中纹理不连续,第 10 帧中有 3 个。

	k											
d_1	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5
d_2		2	3	4	5	6	7	8	2	3	4	5
d_3			3	4	5	6	7	8	9	3	4	5
d_4				4	5	6	7	8	9	10	4	5
d_5					5	6	7	8	9	10	11	5
d_6						6	7	8	9	10	11	12

图 5 第一次修改后循环播放的粒子矩阵

Fig. 5 Modified particle matrix in loop playing

我们将图中与梯形线相邻的每一帧中处于梯形线上部位置的粒子纹理作为输入纹理,与该位置的原始纹理,用羽化方法进行纹理合成。如图 6,以图 3 第 5 帧中的粒子纹理为例,将图 6(a)中 d_1 , d_2 位置的原始纹理块 5 与图 6(b)中对应位置修改后纹理块 2,利用公式(2)合成如图 6(c)所示的合成纹理。式中 A_{pixel} 和 B_{pixel} 分别为原始纹理块和第一次修改后纹理块中的像素值; w_1 和 w_2 为相应的权值($w_2 = 1 - w_1$); C_{pixel} 即为改进后纹理块中的像素值。通过修改权值 w_1 和 w_2 ,来达到最佳合成效果^[12]。这里取 $w_1 = 0.2, w_2 = 0.8$ 。

d_1	5	2	2
d_2	5	2	2
d_3	5	5	5

图 6 第 5 帧粒子纹理矩阵合成过程

Fig. 6 Synthesis process of 5th frame particle texture matrix

$$C_{\text{pixel}} = A_{\text{pixel}} \times w_1 + B_{\text{pixel}} \times w_2 \quad (2)$$

因此,第二次修改后的粒子矩阵可近似表示如图 7 所示,其中 k 和 n 值:

$$\begin{cases} k = \frac{f}{2} + 1, n = k - 1 & \text{当 } f \text{ 为偶数} \\ k = \frac{f+1}{2}, n = k, & \text{当 } f \text{ 为奇数} \end{cases} \quad (3)$$

图中阴影部分为需要修改的粒子纹理。可见改进后的粒子矩阵“阶梯不连续”的程度得到了降低,变为“弱阶梯不连续”^[13]。

(3) 绘制

由于合成粒子纹理与周围的纹理不十分一

	k											
d_1	1	2	3	4	5	6	7					
d_2	8	2	3	4	5	6	7					
d_3	8	9	3	4	5	6	7					
d_4	8	9	10	4	5	6	7					
d_5	8	9	10	11	5	6	7					
d_6	8	9	10	11	12	6	7					

图 7 第二次修改后的粒子矩阵

Fig. 7 Further synthesized particle matrix

致,而且合成的粒子纹理之间也可能重叠,因此使用羽化方法对每条流线的粒子纹理进行绘制:

$$\begin{aligned} \text{overlappixel} &= \text{pixelvalue1} \times w_1 + \\ &\quad \text{pixelvalue2} \times w_2 \end{aligned} \quad (4)$$

其中 overlappixel 是羽化区域新的像素值, pixelvalue1 和 pixelvalue2 是边界像素值。

(4) 视频编辑

应用已合成的粒子状态信息,可以在新的区域合成新的任意长度的播放序列,从而实现对视频进一步的编辑合成。

(a) 定义边界线

用两条边界线限定待提取粒子纹理信息的区域,再用一条边界线确定把这些信息应用到的具体位置(控制这条流线的走向可以得到新的流体形态)。

(b) 提取粒子纹理

从待提取区中提取已合成的粒子纹理(图 7 中),放置目标边界线限定的区域中。因为我们已经合成了很好的消除了不连续性的粒子矩阵,所以新生成区域流体的粒子矩阵也是具有“弱阶梯不连续”的。

(c) 绘制

由于新生成的粒子纹理边界的真实感较差,因此同样使用步骤(3)中方法对新生成的粒子纹理的左右边界进行绘制,产生从背景到流体的渐变过渡,最终得到更加灵活生动的视频纹理。

(5) 循环播放

通过循环播放最终合成的 k 帧视频样本,得到任意长度的具有新的形态的流体视频纹理。

3.2 关键程序设计

利用 VC 进行视频纹理程序开发,程序流程图如图 8 所示。

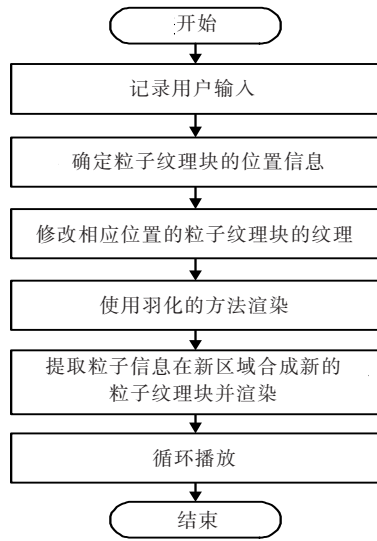


图 8 流体视频合成算法程序流程图

Fig. 8 Flowchart of continuous flow video synthesis method

其中的关键函数算法设计如下:

(1)记录流线函数。算法描述:

if (流线经过点 (x, y))

input point flag $[x][y]$ =TRUE;

else input pointflag $[x][y]$ =FALSE;

(2)确定粒子位置信息函数。算法描述:

确定第 i 个粒子块沿定义流线运动的 posnum 个位置:

(a)if 找到第一个使 input point flag $[x][y]$ = TRUE 的点 { pos $[i][1]$ = (x, y) };

(b)while $j < \text{posnum}$, 从 pos $[i][1]$ 沿流线找下一位置 (x, y)

{ if inputpointflag $[x][y]$ =TRUE

{ 利用最小二乘方法的原理应用 L_2 距离找到 pos $[i][j]$ = (x, y) ; $j++$; }}

(3)视频合成函数。算法描述:

for (每一条流线 m 中的粒子)

{ for ($k=1; k < \text{framenum}; k++$)

for ($n=k+1; n < \text{framenum}+1; n++$)

{ 用第 $k+\text{framenum}$ 帧的粒子纹理渲染 pos $[m][n]$ 标记的位置处粒子纹理块;

particleflag $[x][y]$ =TRUE; }

for ($k=1; k < \text{framenum}; k++$)

{将第 k 帧粒子纹理与该位置原始纹理使用羽化方法,修改 pos $[m][k]$ 标记位置处的粒子纹理块;}

for (粒子重叠区域和粒子与背景边界)

{ 羽化处理;particleflag $[x][y]$ =TRUE; }}

(4)视频编辑函数。算法描述:

(a)确定待提取区域的像素位置信息

if 在待提取区域找到第一个使 input point flag $[x][y]$ =TRUE 点 pos $[i][j]$

{ 从 pos $[i][j]$ 开始沿定义的提取流线找后续 editnum 点 }

(b)确定对应的目标区域像素位置信息

if 在目标区域找到第一个使 input point flag $[x][y]$ =TRUE 点 editpos $[i][j]$

{ 从 editpos $[i][j]$ 开始沿定义的编辑流线找后续 editnum 点 }

(c)完成新区域纹理的渲染

for(编辑区定义的每一条流线 m 中的粒子)

{ for ($k=1; k \leq \text{framenum}; k++$)

for ($n=1; n \leq \text{editnum}; n++$)

{用第 k 帧提取区域 pos $[m][n]$ 粒子纹理渲染目标区域 editpos $[m][n]$ 粒子纹理块;

particleflag $[x][y]$ =TRUE; }

for (新区域粒子与背景边界)

{ 羽化处理;particleflag $[x][y]$ =TRUE; }}

(5)合成视频显示函数。算法描述:

for (整个显示区域)

{ if particleflag $[x][y]$ = TRUE

显示粒子纹理;

else 显示原始纹理. }

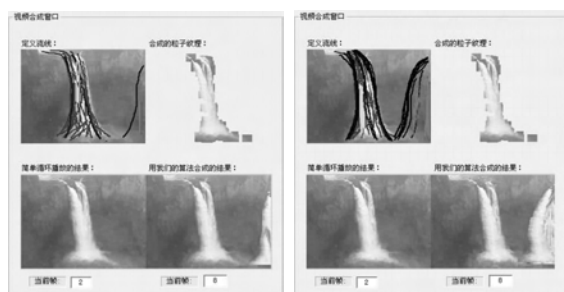
4 结果与分析

利用上述算法开发基于粒子系统的流体视频合成编辑器如图 9(a)所示。具有如下功能:选择一段 AVI 流体视频作为输入视频,打开它的第一帧图像作为操作画面;允许用户在显示的第一帧图像的流体部分,自定义多条输入流线;然后在编辑器的视频合成窗口显示沿用户定义的流线合成的粒子纹理,以及经过简单循环播放得到的任意长度视频和使用本文算法合成的视频纹理。同时具有在新的区域编辑合成新的自然生动的流体功能,如图 9(b),9(c)所示。

通过对比,可以看出利用本文算法编辑合成的



(a)



(b)

(c)

图 9 基于粒子系统的流体视频合成编辑器

Fig. 9 Particle system based continuous flow video synthesis editor

视频纹理各帧间的切换更加平滑、自然,合成的效果更加真实生动。

该算法适用于对具有相对稳定的流体运动的样本视频进行编辑合成,如图 10 为对一段大瀑布视频进行编辑合成的视频纹理。



(a)original

(b)synthesis

图 10 合成的大瀑布视频纹理

Fig. 10 Synthesized large waterfall video textures

5 结 论

利用粒子系统的特征,用基本粒子群来描述自然现象的属性及变化,在基于流动视频合成算法的基础上,结合图像剪切算法在最小误差缝隙处合并的思想,改进得到了一种流体视频合成算法。该方法可通过对样本视频的编辑,得到具有新形态的永恒、连续、更高真实感的流体视频。利用该算法开发流体视频合成编辑器软件,实验结果表明了算法应用于相对稳定的流体运动的样本视频中的有效性。

参 考 文 献:

- [1] Bhat K S, Seitz S M, Hodgins J K, et al. Flow-based video synthesis and editing [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2004, 23(3):360-363.
- [2] Reeves W T. Particle systems: a technique for modeling a class of fuzzy objects [J]. *ACM Computer Graphics*, 1983, 17(3):359-376.
- [3] Arno S, Rocjard S, David H S, et al. Video textures[C]//*ACM SIGGRAPH 2000*, USA:ACM,2000: 489-498.
- [4] Adrien T, Antoine M, Zoran P, et al. Keyframe control of smoke simulations [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2003, 22(3):716-723.
- [5] Ashikhmin M. Synthesizing natural textures[C]//*2001 ACM Symposium on Interactive 3D Graphics*, USA:ACM, 2001: 217-226.
- [6] Vivek K, Arno S, Irfan E, et al. Graphcut textures: Image and video synthesis using graph cuts [J]. *ACM Transactions on Graphics*, 2003, 22(3): 277-286.
- [7] 唐永鹤,卢焕章. 基于灰度差分不变量的快速局部特征描述算法 [J]. *光学 精密工程*, 2012, 20(2):447-454.
- [8] 易盟,郭宝龙,严春满. 结合优化梯度滤波与投影不变的航拍视频配准 [J]. *光学 精密工程*, 2012, 20(3):651-660.
- [9] 田雨露,杨刚,王波,等. 基于块的背景重构算法研究及应用 [J]. *液晶与显示*, 2011, 26(5):693-697.
- [10] 邱家涛,李玉山,初秀琴,等. 稳定运动物体视频的特征方法 [J]. *光学 精密工程*, 2012, 20(10):2300-2307.
- [11] 张云峰. 基于加权最小二乘法的红外辐射定标 [J]. *液晶与显示*, 2012, 27(6):833-836.
- [12] 吴禄慎,高项清,熊辉,等. 改进的非均匀有理 B 样条曲面片拼接算法 [J]. *光学 精密工程*, 2013, 21(2):431-436.
- [13] Chen Jiayu, Liu Jinguo, Li Jianzhi, et al. A video synthesis method for flow patterns[C]//*IEEE IC-NIDC 2010*, Beijing,China;Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.,2010: 303-307.