

基于粒子系统的中国水墨画仿真算法

石永鑫 孙济洲 张海江 贾文丽

(天津大学计算机科学与技术系 天津 300072)

摘要 通过分析中国水墨画绘画材料及相互作用关系,提出一个基于粒子系统的仿真模型体系,用以实现中国水墨画的典型艺术效果.该仿真模型借鉴粒子系统的基本概念,使用“伪布朗运动”作为水墨粒子流动的推动力;对给定的输入笔迹进行边缘提取和检出,并作为粒子初始化的依据;使用层对象混合运算实现基本的多笔次叠加效果.实验结果表明,该算法较成功地模拟了中国水墨画的典型效果.

关键词 中国水墨画;粒子系统;层混合运算
中图法分类号 TP391.41

Graphical Simulation Algorithm for Chinese Ink Wash Drawing by Particle System

Shi Yongxin Sun Jizhou Zhang Haijiang Jia Wenli

(Department of Computer Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract “Pseudo Brown movement” model is used to simulate the impetus of water to ink particles. It can recognize and pick up edges from input strokes and use them to initialize the particle movement. Furthermore, it uses “layer mixing arithmetic” to realize multi stroke superposition. The experiment results indicate that this algorithm simulates the typical effects of Chinese ink wash drawing successfully.

Key words Chinese ink wash drawing; particle system; layer mixing arithmetic

1 引言

对中国水墨画进行仿真研究是计算机艺术领域的一个崭新的课题.由于中西艺术文化差异以及中国水墨画自身的特殊性,中国水墨画艺术效果的计算机仿真有着很大的难度.

与西方绘画艺术相比,中国水墨画的最基本的艺术特征是动态特性和不可覆盖性.本文利用粒子系统的基本思想来实现这两种典型效果.通过大量粒子的“伪布朗运动”,即宏观上规则运动,微观上随机运动,真实地诠释了水墨的动态运动过程.通过层对象混合运算,实现了由于不可覆盖性所造成的多笔次叠加效果.

2 中国水墨画及其特点

水墨画是中国画的一种,指纯用水墨所作之画,相传始于唐代,成于五代,盛于宋元,明清及近代以来续有发展.水墨画以笔法为主导,充分发挥墨法的功能.“墨即是色”,指墨的浓淡变化就是色的层次变化,“墨分五彩”,指色彩缤纷可以用多层次的水墨色度代替之.北宋沈括《图画歌》云:“江南董源传巨然,淡墨轻岚为一体.”就是说的水墨画.唐宋人画山水多湿笔,出现“水晕墨章”之效;元人始用干笔,墨色更多变化,有“如兼五彩”的艺术效果.唐代王维提出“水墨为上”,后人宗之.长期以来水墨画在中国绘画史上占着重要的地位.

原稿收到日期:2002-03-23;修改稿收到日期:2002-08-07. 本课题得到国家自然科学基金(60073048)资助. 石永鑫,男,1978年生,硕士研究生,主要研究方向为计算机真实感图形的生成. 孙济洲,男,1949年生,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为计算机真实感图形生成、基于图像的造型与绘制、科学计算可视化、虚拟现实等. 张海江,男,1980年生,硕士研究生,主要研究方向为中国水墨画的仿真实现. 贾文丽,女,1979年生,硕士研究生,主要研究方向为中国水墨画的仿真实现.

中国水墨画的基本要素有三:单纯性、象征性、自然性,如图 1 所示.而与西方绘画艺术——如油画、水彩画相比,中国水墨画最大的艺术特征是动态特性(渗化与扩散)、不可覆盖性(一笔一个物像,无法修改)和非写实性.



图 1 墨竹

中国水墨画是一种经典艺术、积淀艺术,有其独特的精神与形式的结合方式.中国水墨画的发展受笔、墨、纸的性质的影响,用毛笔、水墨、宣纸可以达到一些特殊的效果.中国水墨画因其与笔、墨、纸材料的必然联系,所以要对中国水墨画进行仿真研究,就必须研究笔、墨、纸的性质.

笔毛的形状、强度和实用范围决定了纸上线条和形体的状态和精确程度,但用笔的主要是如何表达用笔者思想.墨的不可洗性,造成多层透明效果.墨色因素不重要,墨色实际上只有很少的变化.墨况只在墨的凝结干燥的沉积情况中才能体现出差别,而真正使墨变化出无限迹象的是水.水的一次性用量(在一个单位面积的纸上,不间断的一次水的用量的多少)造成‘干湿’,水与墨的调和比例造成‘浓淡’,水的加入次序造成笔迹,水的冲洗力度(水的和缓润湿可以让墨自然渗化,水的激烈冲洗使沉积的浓墨向四周扩散,留下边界)造成墨痕^[1].

纸的吸水性和对过程斑迹的保留能力,使干、湿、浓、淡的墨色及一次性水墨融合的某一片段得以固定化.从纸面上看,其晕化呈同心扩张状态,即墨色从一个中心点均匀地作圆形扩张,扩张的面积与水墨的份量成正比.生纸对任何点线面的枯湿浓淡

反应都十分敏感,在生纸上泼墨,产生的墨像变化主要就是这种扩张状态.因为色墨很快就被纤维吸入,较少留在纸面进行流动,所以流动状态比较少.生纸纤维吸收色墨后的晕化,由中心向四周依次减弱色度和纯度,如图 2 所示.我们在仿真算法中研究的对象,主要指具有上述特点的生宣纸.



图 2 最基本的圆形晕化过程

笔、墨、纸之中人为控制的主要工具是笔,被控制的主要对象是水.水性不可能完全受制于人,其效果因人而异.水墨的‘非确切描绘功能’是针对绘画的传统功能而言,由于其‘非确切描绘功能’根本就不能完全模仿复制,因此每次‘仿’都是每次的解释,表面相似,骨里层次丰富、气象万千.水墨画的最为精妙之处就在于可控制的‘笔’和不可完全控制的‘水’之间的对立统一.

3 基于粒子系统的仿真系统

3.1 已有的仿真模型

西画的艺术品类的仿真研究相对来说开始的比较早,有些艺术品类的仿真如油画、水彩画,已经有十几、甚至几十年的发展过程.水墨画与水彩画都用水作调剂,具有扩散和渗透现象,所以水彩画的仿真值得学习和借鉴.

现有的水彩画仿真采用浅水仿真模型,即模拟一定量的水和颜料流过纸表面.纸表面建模成一个二维矩阵,水粒子由于重力作用,在相邻的单元中流进流出.其仿真体系的核心部分是基于细胞自动机理论的三层流体仿真模型:浅水层、颜料沉淀层、毛细作用层^[2],如图 3 所示.

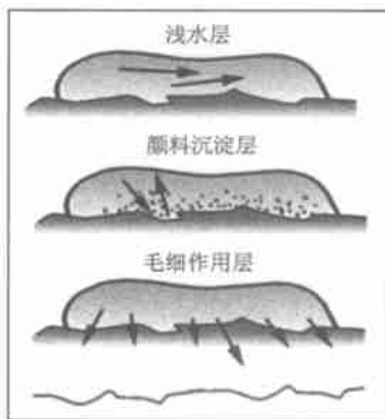


图 3 三层流体仿真模型

对于水墨画仿真的建模,以前也进行了一些尝试.焦景山等^[3]曾经提出由二维纸纤维模型构建的流体仿真模型,通过一个时间推进引擎,不断访问、查询、计算和更新纸纤维细胞包含的水墨粒子的属性,看是否有与相邻粒子间发生粒子流动的可能.如果有,则进行粒子交换,直到容量和吸力平衡、没有流动的可能为止.

相对水彩画的仿真,文献^[3]虽然考虑到了水墨画的特点,但是由于其引擎建立在相邻细胞粒子交换的基础上,缺乏随机性,因此效果不够真实、规律性强、有明显的边界范围,没有真正水墨画的韵味.

3.2 基于粒子系统的仿真算法

由于水墨画的水墨主要是在纸的内部进行扩散和渗化,因此水的流动不单单靠重力作用,更主要的是纸纤维的吸水作用和墨粒子的粘附作用,进而产生扩散纹理.而这些效果的产生除了与墨的浓度(即颜色的深浅)有关之外,还与纸纤维的吸水性、用水量的多少、用笔的角度以及纸纹理的情况有关,有时候甚至完全是随机出现的效果.根据这个原理,我们可以考虑依靠粒子系统的不规则运动产生随机性,从根本上增强效果的真实感.

由于水墨是在原始笔迹的基础上进行扩散的,因此它们流动的总方向可以确定,就是笔迹轮廓边缘的法向量方向.在扩散过程中,水墨流动的方向具有很强的随机性,这一点我们用粒子的大量不规则运动来表征.这种宏观上规则运动、微观上随机运动的现象,我们称之为“伪布朗运动”.该运动的基本流程如图4所示.

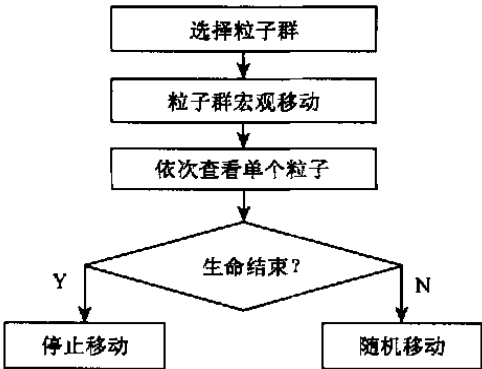


图4 “伪布朗运动”的基本流程

粒子系统在宏观上的规则性需要我们对边界进行提取,然后计算边界的法向量,从而确定基本的移动方向.要计算图形的边界,首先对图像中的像素进行边缘检测,常用的方法有Sobel边缘检测等;获得二值化图像之后再进行边缘提取.文献^[4]根据提取到的边界信息完成粒子的初始化,然后进行“伪随机运动”.其流程如图5所示.

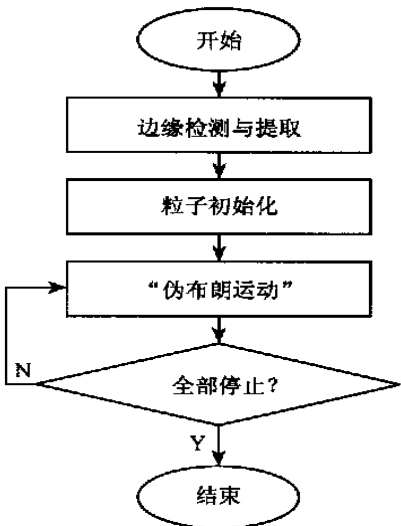


图5 仿真系统的基本流程

为了表达粒子系统的随机性,可以采用一些非常简化的随机过程来控制粒子在系统中的形状、特征及运动.对每一粒子参数均确定其变化范围,然后在该范围内随机地确定它的值,其变化范围由给定的平均期望值和最大方差来确定.文献^[5]的基本表达式为

$$Parameter = MeanParameter + Rand() \times VarParameter$$

粒子的属性包括坐标、颜色、速度、运动方向、生命值和生命衰减值等,可以用如下的一个结构来表示:

```
Struct PARTICLE {
    float x; // X 坐标
    float y; // Y 坐标
    byte Color; // 颜色
    float Angle; // 运动的方向
    float Speed; // 运动的速度
    float Life; // 生命值
    float Decay; // 生命衰减值
};
```

3.3 参数设置和效果对比

在真实的作画过程中,具有各种各样的复杂和随机的效果,所以必须根据实际情况归纳出许多参数,用以表现各种不同的笔法、用墨情况和用水情况等.这些参数通过改变粒子属性值来控制它们的运动轨迹,以实现最终的效果.在设计这些参数的时候,尽量用它们的物理意义而不是实际意义来表达,以便于理解,如吸水性、湿度、水分蒸发率、纸纹理影响率等.

下面简要介绍上述参数的特性及主要实现方法,并以一个相同的原始笔迹来说明这些不同参数的作用,以利于对比.

3.3.1 吸水性

水在纸上的扩散速度,同时也决定了水的扩散范围,在仿真模型中是用水墨粒子的生命力来表示

的,吸水性 $A = Life / Life_{max}$ 的最大值. 具体效果如图 6 所示.

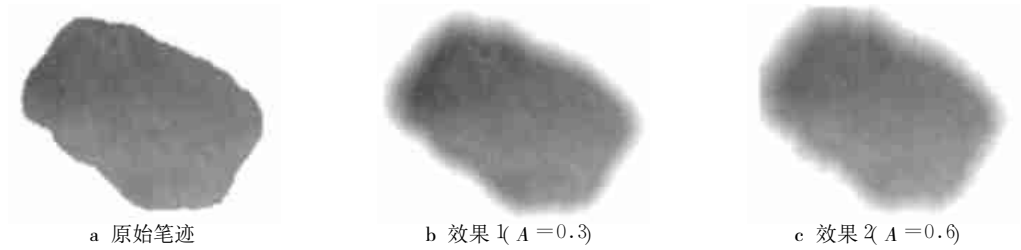


图 6 吸水性不同的原始笔迹仿真

3.3.2 湿度

浓淡效果由水墨的调和比例所决定,在仿真模型中体现为粒子的初始颜色与真实像素颜色的比,

这个数值一般情况下是固定的,在模型建立时直接确定. 湿度 $H = Color / \text{真实像素颜色} - 1$,具体效果如图 7 所示.



图 7 湿度不同的原始笔迹仿真

3.3.3 水分蒸发率

决定水的冲洗造成的痕迹的深浅,即墨痕. 水分蒸发率比较高的时候,墨迹容易凝结在笔迹的周围;否则,会留下比较明显的墨痕. 该参数的设置,是在原始笔迹范围外设置一个较易吸附粒子的地域,当有一定比例的粒子到达这里时,就会停止运动(可以由粒子的速度、生命值和生命衰减值来确定运动的距离),从而产生墨痕. 这个比例的大小就是水

分蒸发率 T . 具体效果如图 8 所示.

3.3.4 纸纹理影响率

纸纹理影响率决定了水、墨在多大程度上受纸纹理的影响. 根据纸纹理的形状和颜色,首先建立一个纸纹理的矩阵,在粒子初始化时,根据该矩阵赋予每个像素不同的粒子数目和颜色,并在最后的效果生成时与该矩阵进行叠加操作.

图 9 所示为纸纹理影响率为 1 时的一幅模拟效果.

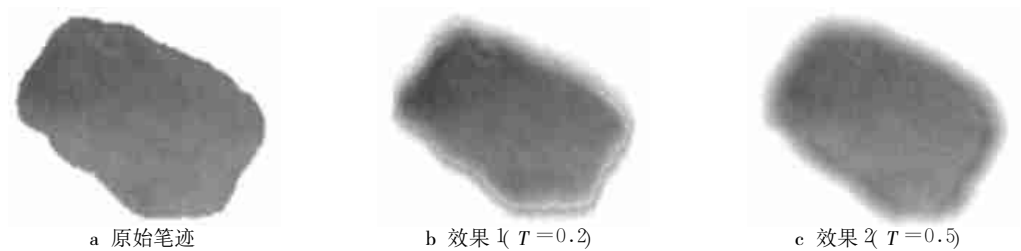


图 8 水分蒸发率不同的原始笔迹仿真

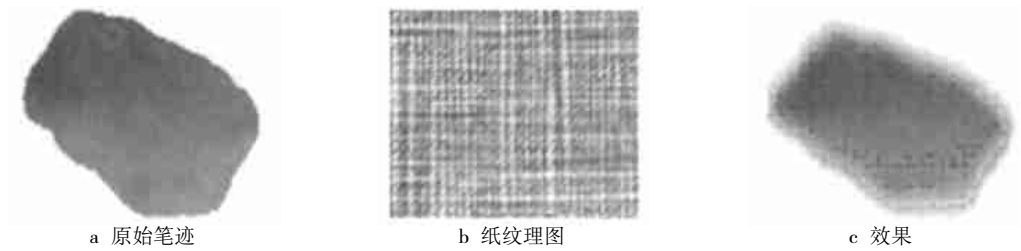


图 9 具有纸纹理的原始笔迹仿真

3.4 多笔次叠加的初步尝试

因为水、墨和纸的一次性渗化造成的绘画效果几乎是不能改动的,所以水墨画效果仿真的最高难点是一笔一个物像.渗化作用决定了水墨画笔次间的特殊作用关系.水彩画以及油画等西画系的艺术品类,由于材料本身具有的遮盖性特点,笔次间是顺序作用,可以进行反复不断地修改,因而更趋向逼真的写实性.在水墨画中,水、墨和纸能否融为一体,产生艺术家所要表达的纹理或造型,从外部看决定于极为苛刻的笔墨工夫,而这笔墨工夫的内涵就是准确地把握和控制水、墨和纸的渗化极致程度.这种极致程度是各材料元素间的有机化合反应,而非一般的物理混合或叠加,这种内在的含蓄性使得水墨画在写意方面具有更深刻的表现力.

多笔次叠加是水墨画的典型效果之一,也是模拟生成的一个难点,为此我们利用层混合算法来尝试解决这一问题.将每一单独的笔抽象为一层,把不同的层看作单独的对象,保存每一层处理的中间状态,包括画面中每个纸纤维细胞的粒子数目、年龄、墨浓度,笔次顺序、原始笔迹轮廓和该层的透明度等;然后把不同的层按照层混合算法进行计算,并得到最终的结果.

上述参数中,粒子数目、年龄、墨浓度、原始笔迹轮廓等参数是由相应的单笔笔迹所确定的,而笔次顺序和透明度则由用户重新指定,这两个参数确定了多笔之间的关系.后一笔对前一笔的覆盖程度可以通过透明度来控制,覆盖范围通过对不同层对象

的笔迹轮廓进行计算获得,如图 10 所示.

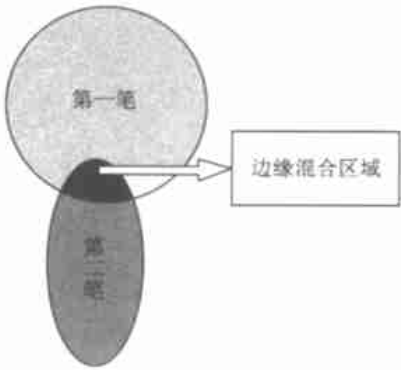


图 10 多笔次叠加的混合区域

下面用伪码来表示层混合算法:

```
// Layer A, Layer B 为输入层对象, Layer C 为结果层对象
for (all Pixel)
    if ( A .edge == true)
        if ( B .edge == true) // 是层混合区域
            C = mix Layer ( A , Transparent ( B )) ;
            // 根据透明度进行粒子混合
            edgeScale() ; // 边缘留痕
        else
            Cal Single() ; // 单笔计算
    End if
End for
```

根据该算法,我们就可以对比较简单的叠加效果作一点尝试.图 11 所示为在吸水率和湿度均为 0.2,透明度分别为 0, 20% 和 40% 的情况下的模拟结果.

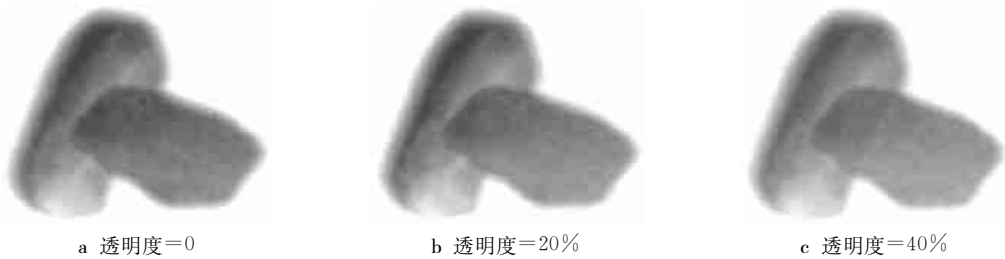


图 11 多笔次叠加的仿真效果

4 结束语

本文提出了一个基于粒子系统的水墨画仿真算法,通过“伪布朗运动”作为粒子移动的推动力,以实现中国水墨画的典型效果.根据大量的实验总结出一些可控的参数,使用户可以从外部控制仿真效果的生成.在单笔仿真的基础上,还提出了层混合算

法,用来对较复杂的多笔次叠加情况进行模拟.从结果来看,本文算法比较真实地模拟了中国水墨画的部分效果.图 12 所示为用本文算法创作而成的一幅完整作品.

当然,在对复杂边界的处理、特殊效果(如飞白)的生成等方面,用本文算法实现还有一定的难度,这也是今后要进一步研究的课题.



图 12 一幅完整作品——春江水暖图

参 考 文 献

- [1] Zhu Qingsheng . The self existent reason of modern ink painting [A] . In : Proceedings of the 1st International Ink Painting Biennial of Shenzhen , Shenzhen , 1998 . 30~31 (in Chinese)

(朱青生. 现代水墨画独立存在的理由[A] . 见:第1届深圳国际水墨画双年展专题论文,深圳,1998. 30~31)

- [2] Cassidy J Curtis , Sean E Anderson . Computer generated water color [A] . In : Computer Graphics Proceedings , Annual Conference Series , ACM SIGGRAPH , Los Angeles , 1997 . 421~429
- [3] Jiao Jingshan , Sun Jizhou . Graphical Simulator for Chinese Ink Wash Drawing [M] . In : Gu Juyi , ed . Digital Art Forum . Hangzhou : Zhejiang People 's Fine Arts Publishing House , 2002 . 190~204 (in Chinese)
- (焦景山,孙济洲. 中国水墨画效果的图形仿真[M] . 见:辜居一主编. 数字化艺术论坛. 杭州:浙江人民美术出版社,2002. 190~204)
- [4] Sun Jiaguang . Computer Graphics [M] . Beijing :Tsinghua University Press , 1998 (in Chinese)
- (孙家广. 计算机图形学[M] . 北京:清华大学出版社,1998)
- [5] Peng Qunsheng , Bao Hujun , Jin Xiaogang . Procedural Elements for Three dimensional Computer Graphics [M] . Beijing : Science Press , 1999 (in Chinese)
- (彭群生,鲍虎军,金小刚. 计算机真实感图形的算法基础[M] . 北京:科学出版社,1999)

(上接第 666 页)

5 结 论

本文提出了一个新颖的多种子BIST方案,它使用伪随机向量难测故障的测试向量作为种子,利用种子产生过程中剩余的随意位进行存储压缩,并通过最小化种子的测试序列以减少测试施加时间. 本方案的优点是故障覆盖率高,近似等于所依赖的 ATPG 工具的故障覆盖率;需要外加硬件较少;测试施加时间较短. 实验证明,一个使用 LFSR 作为伪随机测试向量发生器的 BIST 方案,只需增加百分之几的硬件开销,就可以实现重复播种方案,获得一个近似 ATPG 工具的故障覆盖率. 本文研究工作的另一个意义在于指出了有效的存储种子方法,并通过实验证明是存储有效的,可以广泛应用于各种需要存储测试向量的领域.

参 考 文 献

- [1] Schotten C , Myer H . Test point insertion for an area efficient BIST [A] . In : Proceedings of International Test Conference , Washington D C , 1995 . 515~523

- [2] Pomeranz I , Reddy S M . 3-Weight Pseudo random test generation Based on a deterministic test set for combinational and sequential circuits [J] . IEEE Transactions on CAD , 1993 , 12 (9) : 1050~1058
- [3] Pateras S , Pajski J . Cube contained random patterns and their application to the complete testing of synthesized multi level circuits [A] . In : Proceedings of International Test Conference , Nashville , TN , 1991 . 473~482
- [4] Akers S B , Jansz W . Test set embedding in a built in self test environment [A] . In : Proceedings of International Test Conference , Washington D C , 1989 . 257~263
- [5] Dufaz C , Viallon H , Chevalier C . BIST hardware generator for mixed test scheme [A] . In : Proceedings of European Design and Test Conference , Paris , 1995 . 424~430
- [6] Chen C , Gupta S K . A methodology to design efficient BIST test pattern generators [A] . In : Proceedings of International Test Conference , Washington D C , 1995 . 814~823
- [7] Koene mann B . LFSR coded test patterns for scan designs [A] . In : Proceedings of European Test Conference , Munchen , 1991 . 237~242
- [8] Li Zhongcheng . Research and application on algorithms of test pattern generation [D] . Beijing : Institute of Computing Technology , Chinese Academy of Sciences , 1991 (in Chinese)
- (李忠诚. 测试产生算法研究及实现[博士学位论文]. 北京:中国科学院计算技术研究所,1991)