

# 中国水墨画的基本艺术特征及其计算机仿真实现

齐亚峰 孙济洲

商毅

(天津大学计算机科学与工程系, 天津 300072) (天津美术学院视觉设计系, 天津 300072)

**摘要** 为了实现中国水墨画的计算机仿真, 通过对中国水墨画艺术效果中, 笔、水、墨、纸的特性及相互影响制约因素的分析, 将中国水墨画绘画过程“量化”、“标准化”, 使得这一过程具有可控性和可预见性. 通过抽取体现水墨画特征的典型艺术效果, 对中国水墨画中诸如: 笔法、纸张等进行大胆的归类, 让其减少到可控的少数几种之内, 并对感性的艺术效果进行了数字化定义. 在上述分析的基础上, 建立了一个专门用于模仿水墨画效果的三维纸纤维模型. 并在此基础上实现了对单笔水墨画效果的计算机仿真. 最后还将纸纹理的干扰作用考虑进去, 从而使得仿真效果更加多样, 更加真实.

**关键词** 计算机图形学(520·6030) 中国水墨画 纸纤维模型 纹理 计算机仿真

**中图分类号:** TP391.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2003)05-0562-05

## Basic Art Characters and Graphical Simulation for Chinese Ink Wash Drawing

QI Ya-feng, SUN Ji-zhou

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

SHANG Yi

(Department of Visual Design, Institute of Art in Tianjin, Tianjin 300072)

**Abstract** With data collected from the analysis of the characteristics of brush, water, ink and paper, this paper intends to standardize the painting process of Chinese ink and wash (sumi-e), making the process controllable and predicable. It also tries to classify the rice paper and the painting techniques and defines the perceptual artistic presentation of sumi-e in a digital term. On the basis of the above analysis, this paper intends to establish a three-dimensional paper fibre model to achieve computer simulation of the one-stroke effect in wash painting. Moreover, the influence of paper fibre is taken into consideration in order to obtain a more diversified and more authentic simulation. This accordingly provides a unique platform for real-time dynamic simulation of realistic ink diffusion in that the result ant diffusion images reflect the texture and the global change of gray tones as well as local temporal variations specific to a particular paper. At last, examples are presented demonstrating the capability of the proposed technique for handling different ink and paper properties.

**Keywords** Computer graphics, Chinese ink wash drawing, Paper fibre model, Texture, Computer simulation

### 1 中国水墨画的基本艺术特征

随着计算机图形学技术的飞速发展, 人们对真实绘画的模拟实现方法进行了大量的研究<sup>[1]</sup>, 而进行中国水墨画效果的计算机模拟技术的开发, 对弘扬民族文化以及使中国几千年来的传统水墨画艺术

走向大众, 走向世界, 具有积极意义. 此外, 模拟仿真中国水墨画效果, 对于丰富图形渲染领域的处理手段, 推动计算机仿真技术的发展亦起到同样的积极作用, 可以说, 中国水墨画的计算机模拟是科学技术与艺术的极佳融合.

中国水墨画通过长期的演变和发展, 不仅形成了诸多风格派系, 而且技法繁多, 又因为艺术创作过



基金项目: 国家自然科学基金项目(60073048)

收稿日期: 2002-03-29; 改回日期: 2002-12-05

程中偶然因素和感性因素的大量存在<sup>[2]</sup>,使得这种极为随意挥洒的艺术形式很难和这种严谨规范的计算机技术相融合,这就需要人们首先深入研究水墨画绘画材料的特征及其相互作用关系,进而从繁多的技法中抽取体现中国水墨画特征的典型艺术效果,并对感性的艺术效果进行图形分析,从而实现其数字化定义,以便根据其特征选择合适的仿真手段来构建水墨画仿真模型体系。

笔、墨、纸、砚是中国水墨画的文房四宝,即 4 种基本的工具和材料,其中,笔、纸是中国水墨画的两大主要材料,可产生出扩散、渗化、笔痕等特殊效果,由于它们是中国画与西洋画的主要形式区别,因此,对于中国水墨画的仿真研究应该从纸和笔的仿真入手。在用计算机来仿真中国水墨画的艺术效果之前,有必要了解一下中国水墨画的基本艺术特征<sup>[2]</sup>。

### 1.1 毛笔的特征和分类

中国毛笔的产生大约有 2000 年的历史了,它与西方画笔的主要区别在于笔锋,中国毛笔呈“楔”形,有很锐的笔尖,着墨落笔时可出现“”形的笔触,而西洋画笔呈“刷”形,只能出现形的笔触。

中国水墨画的绘制工具主要依靠各种规格的毛笔,其笔毛的原料质地直接影响着笔迹的形状和洒水的参数,按质地可将其归纳为如图 1 所示的两种。

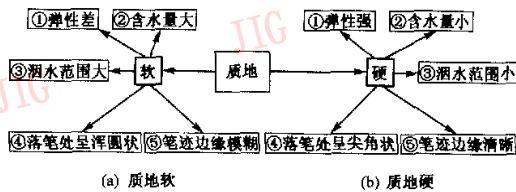


图 1 毛笔的分类

### 1.2 笔法的归纳

在中国水墨画中,笔法多变也是一大特色,如有中锋、逆锋、侧锋、拖锋、散笔等等,其中光皴法就不下十几种,如斧劈皴、雨点皴等等。在艺术家眼中,这些笔法不仅差别很大,而且是彼此独立的。但是,为了便于用粒子系统算法模型对毛笔进行行为仿真,则应首先将其归纳为两种简单的基本笔法,即“中锋”和“侧锋”,而其他的笔法皴法都可由这两种笔法变化得来。

中锋:运笔时,笔尖在笔迹正中,结合用笔的力度、速度、走势又可将中锋用笔演化成拖锋和逆锋。

侧锋:运笔时,笔尖在笔迹一侧,结合用笔的速度、粒子数量多少、生命值长短,可将侧锋用笔演化为各种皴法。

结合近来较为普及的电子画笔,利用其敏感的压力感受能力,通过对“绘画者”的用“笔”力度、速度、提按等的迅速分析来获得所需的笔迹效果,以实现仿真过程。

### 1.3 纸的分类

中国水墨画用纸,其“润”的效果,应该说是最能体现中国水墨画“水墨味道”的,纸模型的合理建立将是中国水墨画仿真研究的关键之处,这也就要求对宣纸要有较为深入的了解和认识。宣纸品类繁多,从配料来说,可分为棉料、净皮、特净皮 3 种;从厚薄分,又有单宣、夹宣、二层贡、三层贡等;从加工制作工艺又可分为:生宣(吸水性强)、熟宣(是生宣加入明矾等加工而成,质硬而不吸水)、半熟宣(能够吸水,但不像生宣那么易于渗化)。其他还有元书纸、毛边纸、竹帘纸、白关纸、七都纸、六吉宣纸、虎皮宣纸、腊笺、泥金笺、高丽笺等<sup>[2]</sup>。最常用的是生宣纸和元书纸,二者在绘画效果上是有所不同的(表 1、图 2)。

表 1 生宣纸与元书纸的纤维结构及绘画效果

	表面视觉效果	纤维结构	笔痕效果
生宣纸	表面洁白平整、光滑。	由于选用棉、竹、麻等纤维进行精细加工,所以纸的纤维细密,排列紧密。	上乘生宣纸可以出现如保留笔痕,笔间重叠等效果,“润”出的水边整齐柔和。
元书纸	表面呈淡黄色,较粗糙。	由于原材料是芦苇、草、麻等纤维,故纸纤维本身较粗,较长,排列松散。	墨色易溶合,不易出现笔痕效果,渗出部分不整齐,随意性很强。

由于这两种纸的纤维内部结构存在差异,使得模拟水墨画的纸纤维模型也应有所差别(图 2)。

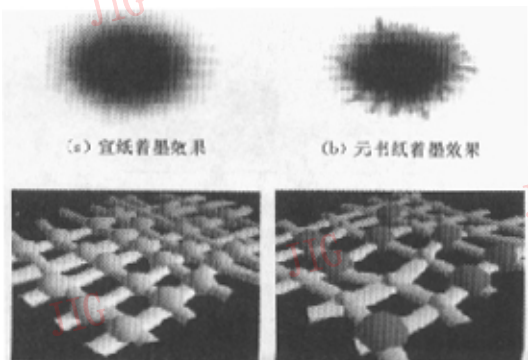


图 2 宣纸与元书纸纤维内部结构差异及着墨效果

本文所研究的对象就是以生宣为基础的中国水墨画。生宣又称单宣,具有极强的发墨能力,适于表现水墨奇妙的着墨效果,且发墨层次多,艺术表现力最强。水墨画的艺术效果以生宣纸最为绝妙,故生宣多用于写意泼墨。若生宣加入矾等辅料制成熟宣,则严重降低了发墨能力,故熟宣主要用于写字和工笔作画。

#### 1.4 中国水墨画动态特性

中国水墨画的特点是具有扩散和渗透现象,由于水墨画绘画材料的特殊性,它还具有潜在的渗化作用。与水彩画不同的是水墨画的渗化与扩散是一个可以看到的极为明显的动态过程,水墨不仅会扩散到笔迹之外,同时还会由于渗化作用而留下清晰的扩散纹理。另外,水彩画是颜料和水在纸表面上混合、沉淀和浸透形成的,而水墨画则主要是水墨在纸的内部发生渗化与扩散反应的结果<sup>[3]</sup>(如图3所示)。

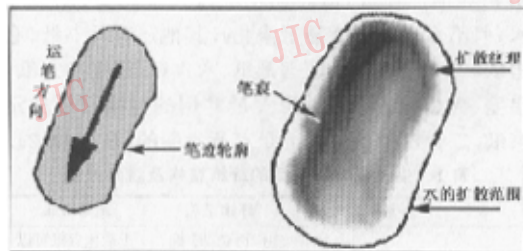


图3 水墨的渗化与扩散反应

## 2 水墨效果的计算机仿真

由于中国水墨画的水墨主要是在纸的内部进行扩散和渗化,其影响最后效果的是纸的内部结构,而不是表面高度细节,其作用原理如图4所示<sup>[3]</sup>。

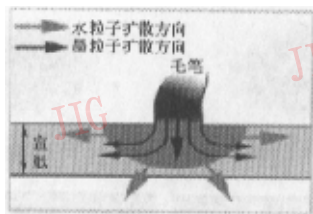


图4 水墨扩散特性

由图4可见,水的流动主要是依靠纸纤维的吸水作用和墨粒子的粘附作用,正是由于纸纤维的内部结构差异,才会发生不同的流动效果及渗化效果,进而产生扩散纹理,所以本文提出构建一个纸纤维内部结构模型,用来模拟液体在其内的流动扩散行为。

这样模拟时,就将作画用的纸看成是一个由具有相同大小、可以包含若干水墨粒子的相互连通单元构成的三维矩阵,水粒子由于毛细作用,在相邻的单元中流进流出,而单元中不同的水墨粒子含量就是水流到最后状态。若将不同单元水墨粒子含量映射为颜色信息,再将三维纸纤维模型映射成二维平面图形,则仿真的水墨画就能得到最后所需的艺术效果。

流体仿真模型包含3部分:

#### (1) 纸纤维细胞

纸纤维细胞是具有一定的吸水力和容量的单元。每个单元都可以包含若干水墨粒子和各种参数属性,而水墨粒子可以看作是包含一定属性信息的水墨单位,如墨的含量、年龄、粘度等。像水墨粒子一样,每一个纸纤维细胞也包含一定的属性信息,如自身的容量、当时的吸水力、所含水墨粒子的数量等。纸纤维细胞是流体仿真模型的最小计算单位。

对于一个给定的输入笔迹,可以将其看成是具有特定属性水墨粒子的粒子源,并可根据用户条件,确定粒子的属性、粒子总量等。这样,在仿真水墨画时,所有在笔迹覆盖之下的纸纤维细胞都将接受到一定数目的水墨粒子,而单位时间内接受粒子数目的多少则将由笔迹的形状、浓淡等随机属性决定。

#### (2) 三维纸纤维模型

该模型是将画纸看成是由若干纸纤维细胞组成的三维矩阵(如图5所示)。该模型中的每一个纸纤维细胞可以和同一层中互相连通的4个纸纤维细胞交换水墨粒子,并且上层的纸纤维细胞也可以在重力的作用下将水墨粒子传递给下层的纸纤维细胞。

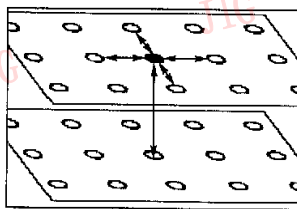


图5 三维纸纤维模型

三维纸纤维模型可以较为真实地模拟水墨粒子在画纸中的流动情况。

#### (3) 水流推进引擎

该引擎是用于控制水墨粒子与纸模型及环境之间相互作用的行为规则。

为了模拟真实绘画过程中产生的水墨扩散和渗化效果,本文提出水流推进引擎的方法,它是一个遍

历的过程,即通过不断地访问、查询、计算和更新纸纤维细胞包含的水墨粒子的属性来进行仿真.这种水流推进引擎是通过查看该细胞的状态,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.

下面给出算法描述:

```
public void calculate(){
    balance = true;
    while (balance){
        balance = false;
        foreach(三维纸纤维模型中的每一个细胞{
            if (它与相邻的细胞可以发生水粒子的流动){
                translateCell(正在计算的纸纤维细胞,与其相邻的
                纸纤维细胞); //两个纸纤维细胞进行水墨粒子的交换
                balance = true;
            } }
        mixColor(); //将三维纸纤维模型映射成二维平面图形
    }
}
```

为了验证流体仿真模型的可行性,还完成了一个对原始笔迹进行处理的实验.假定原始的笔迹只停留在三维纸纤维模型的最上一层,即除最上层外的所有纸纤维细胞所包含的水墨粒子数均为零,而最上层纸纤维细胞所包含的水墨粒子数则根据原始笔迹的颜色来决定.

图 6 给出了同一笔次在不同纸纤维模型条件下的仿真结果.从图中可以看到,其所保留笔迹和扩散纹理等典型水墨画效果非常明显,而且,得到的结果具有别具一格的艺术味道,通过控制特征参数值,可随意控制最后的输出结果,直到令人感到满意为止.其中水粒子数用于控制原始笔迹含水量的多少;墨粒子的数量是根据原始笔迹的颜色信息来决定的;临界值则用于控制两个纸纤维细胞发生水墨离子交换的条件;交换率用来控制当两个纸纤维细胞发生水墨离子交换时的交换比率.

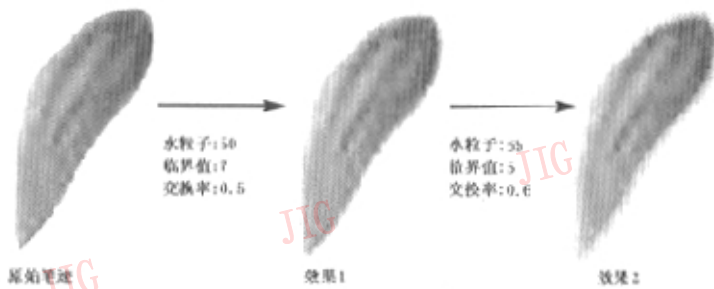


图 6 同一笔次在不同纸纤维模型条件下的仿真结果

### 3 在笔迹中加入纸纹理

采用上述流体仿真模型计算得到的最终结果,有时会有单调和缺乏变化之感,由于难以体现中国水墨画千变万化的艺术特色,并且也无法仿真元书纸、毛边纸,竹帘纸等画纸上的水墨效果<sup>[4,5]</sup>,因此需将纸纹理的干扰因素加进去,以便使得最后的仿真效果更加多样、更加真实.

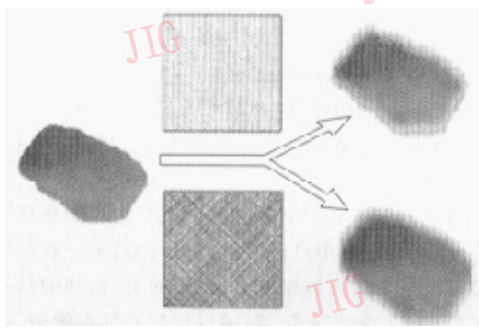
有两种方法可以用来模拟纸纹理:

(1)将纸纹理与经过流体仿真模型计算所得的结果进行图象叠加,以形成最终的具有较好艺术效果的水墨画.这种做法的特点是简单易行,但最终结果中的纸纹理线条较为明显.这种方法虽可以用来产生较为特殊的水墨艺术效果,但对于常见的水墨渗化效果尚难以逼真地模拟.

(2)在对三维纸纤维模型中每一个纸纤维细胞进行初始化的时候,就将纸纹理考虑进去.具体做法是先将纸纹理的颜色信息转换成相应的水墨粒子,然后再将其与正常方式下初始化的纸纤维细胞中所含有的水墨粒子按一定比例进行叠加,从而使得在三维纸纤维模型中就已包含了纸纹理的特征(如图 7 所示).

将通过上述方法生成的三维纸纤维模型放入水流推动引擎中进行计算,最终所得到的结果会使得仿真的结果中包含纸纹理的特点.这种做法虽然会在一定程度上增加计算所需的时间,但其产生的效果却较好地体现了水墨的渗化效果.

加入纸纹理后,在得到其特殊的艺术效果的同时,还发现如果纸纹理初始化适当的话,由于可以使经过流体仿真模型计算得到的扩散纹理的边界参差不齐,从而较好地体现了中国水墨画的艺术特性.



原始输入笔迹      输入纸纹理      结果

图 7 加入纸纹理干扰后的计算效果



图 9 仿齐白石作品——虾

### 4 结 论

本文首先对中国水墨画的基本艺术特征进行了概括和总结,这样就为今后中国水墨画仿真系统的研究提供了依据;然后在这些基本艺术特征的基础上,建立了一个简单有效的水墨画仿真模型,并成功地实现了中国水墨画的典型艺术效果,而且通过修改仿真模型的参数还可以模拟出多种水墨画效果.对于给定的笔迹输入,不仅可以通过改变特征参数值得到期望的效果,甚至可以通过增加纸纹理来得到意想不到的艺术效果.图 8 给出了一幅中国水墨画的具体制作过程,图 9 就是通过该系统生成的一幅水墨画作品,它一共包含了 38 笔,每一笔的特征参数设置都不尽相同,如躯干部分的扩散程度较高,而虾的前爪和触须的扩散程度较低,这样就形成了一幅生动的水墨画作品.

本文提出的水墨画仿真模型还有很多不完善的地方,例如多笔次之间的叠加效果(如破墨)还不能

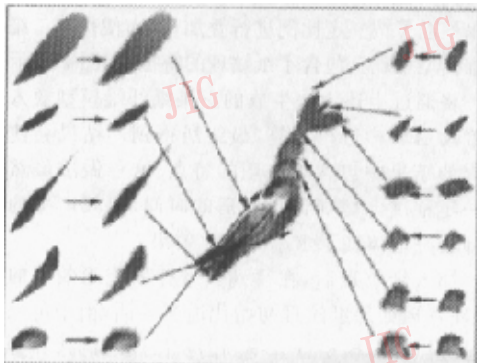


图 8 水墨画作品的制作过程(虾的躯干的制作)

直接计算出来,对于一些复杂的水墨画艺术效果(如干笔飞白)也难以进行仿真,该模型还需要在以后的研究中逐步完善.

### 参 考 文 献

- 1 齐东旭. 科学与艺术的融合——谈计算机艺术探索的一些问题 [A]. 见:第一届全国计算机图形学学术会议文集[C],北京:电子工业出版社,1996.
- 2 俞剑华. 中国画论类编(上卷)[M]. 北京:人民美术出版社,1986.
- 3 焦景山,孙济洲. 中国水墨画效果的图形仿真[A]. 见:辜居一主编. 数字化艺术论坛[M]. 杭州:浙江人民美术出版社,2002: 190~204.
- 4 David Small. Simulating watercolor by modeling diffusion, pigment and paper fibers[A]. In: proceedings of SPIE'91[C], San Diego, CA, USA, February 1991;70~76.
- 5 Steve Strassmann. Hairy Brushes [A]. In: Proceedings of SIGGRAPH[C], Dallas, Texas, USA, 1986;225~232.



齐亚峰 1978 年生,现为天津大学硕士研究生. 主要研究领域是计算机图形学、中国水墨画的仿真、虚拟现实等.

孙济洲 1949 年生,1993 获英国 Sussex 大学工程学院博士学位,现任天津大学计算机科学与技术系教授、博士生导师、电子信息与计算机工程学院副院长. 主要研究方向为真实感图形生成、基于图象的造型与绘制、科学计算可视化、虚拟现实等.

商毅 1976 年生,现为天津美术学院硕士研究生. 主要研究领域为设计思维.