

一个三维计算机水粉笔刷模型

于金辉 徐晓刚 彭群生

浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室 杭州 310027

摘要 近几年显示三维物体的非照相真实感图形绘制技术得到迅速发展,其中大部分旨在模拟传统美术画种的效果,但在已发表的文献中我们尚未见到用计算机方法生成水粉的报道。本文提出一个三维计算机水粉笔刷模型,它包括笔刷单元选取、颜料模拟、颜料扩散以及整体控制四部分。该模型结构简单并可以直接应用到传统三维曲面上生成手工绘制水粉画的效果。文中图例表明该模型的模拟效果令人满意。

关键词 水粉模拟, 笔刷模型, 艺术风格图形绘制。

A 3D Computer Brush Model of Gouache

Yu Jinhui Xu Xiaogang Peng Qunsheng

State Key Lab of CAD&CG, Zhejiang University, Hangzhou, 310027

Abstract: Recently there has been a trend toward non-photorealistic rendering on 3D polygonal models but there is no literature evidence that the effect of gouache has been explored. In this paper we present a computer model capable of generating the effect of gouache. The model consists of four parts including brush unit design, pigment simulation, pigment diffusion as well as high-level control mechanism and can be applied directly to the traditional 3D polygonal models. Results demonstrating the capabilities of our model are also given in the paper.

Keywords: Non-photorealistic rendering, rendering systems, natural media simulation, gouache brush model.

1 引言

计算机图形绘制技术基本上可以分为两大类:具有照相真实感图形绘制(photorealistic rendering)与非照相真实感图形绘制(non-photorealistic rendering, NPR)。早期的计算机图形绘制技术研究主要集中于前者,最近几年人们开始把注意力转向后者。由于大多数 NPR 以模拟传统绘画工具的视觉效果为目的,所以 NPR 包括笔刷设计,笔刷使用以及笔刷与 3D 物体模型结合三方面内容。

在过去十多年人们开发出许多计算机笔刷模型,其中大部分用来模拟二维平面上的绘画或书法效果,个别的可以在三维中使用。现在我们对它们作简略回顾。Whitted 用一个反混濇(anti-aliasing)的 Z 缓冲器图象来生成三维笔刷[1]。Green 设计了一个叫做“Drawing Prism”的装置[2],它能把一个实际的笔刷数字化,虽然用它获得的笔刷图象真实感很强,但该系统无法提供高于象素水平的控制参数。Berkel 基于骨架的 SIAS 系统可以在沿轨迹运动时使笔刷宽度变化[3],它在形状上限于西语字符的生成故很适合一些较特殊的应用如西语印刷,但难以作为一个通用的笔刷。Strassmann 在 1986 年建立了毛笔刷在纸上着墨的模型[4],Guo 和 Kunii 把该模型进一步扩展到墨水通过纸纤维扩散的过程[5]。Pang 等曾尝试把真毛笔装在绘图仪上并通过控制笔的升降与轨迹参数来定义笔刷[6]。而后,王和庞还开发了一个计

算机书法系统[7]。在该系统中先定义汉字的轮廓,然后通过对样条曲线插值采样来定义并控制笔刷速度和墨量。Hsu 和 Lee 采用[4]和[3]中的骨架思想开发出一个叫做骨架笔刷的模型[8],通过在任意轨迹定义的二维形变模型他们可以用一些图案作为“墨水”来表现笔刷的变化。我们把骨架思想与喷雾模型结合提出一个能够任意控制笔刷形状和颜色的模型[9],它可以很好地处理草书中的飞白问题。Meier 在 1996 年提出一个能够生成具有油画效果的绘制方法[10],该方法需生成一个真实感的三维参考物体图象,从中获取几何与光照信息来控制笔刷属性。Curti 等采用基于流体模拟的多层半透明色彩叠加方法来产生水彩效果[11]。它在对三维物体进行绘制时也需要一幅真实感图象作为参考,色彩选择和笔刷控制参数则需用户提供。Sousa 等在提出在三维曲面模型上绘制铅笔效果的方法[12]。Kowalski 在 1999 年利用 Fractal 在三维图象基础上绘制出具有漫画风格的树、草地以及动物形象[13]。

在三维 NPR 中还有许多传统绘画媒介尚未用计算机方法再现,水粉就是其中一例。水粉是用水调和含有胶的粉质颜料。它的特点是色彩纯度高,遮盖力强。水粉既可以像水彩颜料那样用水来调和又可以像油画颜料那样上层颜色覆盖下层颜色,所以在视觉效果上它介于水彩和油画之间。用计算机模型在三维曲面上模拟水粉画效果我们需要解决以下几个问题:

- (1) 笔刷单元:在二维情况下笔刷单元对应于画笔横截面的形状,如毛笔的圆形和排笔的扁平形。现在我们的绘画对象是三维曲面,若采用上述笔刷单元形状会造成曲面某些地方留出空白,所以需要另外选取笔刷单元。
- (2) 颜料模拟:颜料模拟应体现水粉的水性与粉性。
- (3) 颜料扩散:颜料扩散是指水粉颜料在笔刷周围扩散的效果。
- (4) 整体控制:整体控制是指在宏观上对局部参量进行调控以增强手工绘画效果。

本文提出一个三维计算机水粉笔刷模型旨在解决上述几个问题。它结构简单并可直接应用到传统三维曲面上。在模型中的一个主要思想是用确定性分量和随机性分量联合控制模型中各局部参量,以使绘制出来的物体具有手工绘画的感觉。在下面几节中我们将详细介绍模型的构造方法并给出用该模型绘制出的图例。

2 笔刷单元选取

由于三维曲面一般采用小四边形或三角形互相连接表示,我们在模型中直接取它们作为笔刷单元。这样选取能使曲面完全被覆盖住。

3 颜料模拟

我们先用某一基色 $BColor$ 填充笔刷单元区域,然后在该区域内适量随机分布一些散点来模拟水粉颜料。前者可以体现水粉的水性,后者可以体现水粉的粉性。为了表现物体的明暗我们用传统的方法计算 $BColor$,即笔刷单元对应的四边形(或三角形)的法向矢量 N 与光源矢量 L 的点积。为了增强手工绘画效果,散点的颜色用基色加随机扰动来确定,即

$$PColor = k \cdot BColor + rnd(r) \cdot V(PColor) \quad (1)$$

这里 k 是与光源相关的系数, $rnd(r)$ 是取值范围从-1 到 1 的随机数, $V(PColor)$ 是方差,其大小要根据视觉效果确定。注意随机扰动后须保证 $PColor$ 落在指定的某一颜色序列范围内。

3.1 散点数量

实验结果表明在笔刷单元内散点数量少颜色的水性感觉强,散点数量多颜色的粉性感觉强,所以散点数量 $PrtLN$ 在某种程度上表示颜色的干湿程度。我们在模型中用与笔刷单元周长 $BunitL$ 成比例的确定性分量加小量随机扰动来确定散点数量:

$$\text{Pr}tlN = l \cdot \text{Bunit}L + \text{rnd}(r) \cdot V(\text{Pr}tlN) \quad (2)$$

这里 l 是控制颜色干湿度的比例系数, 由用户根据视觉效果指定。式中第一项能够使散点数量自适应地跟随笔刷单元大小变化而变化。

3.2 散点位置

散点若规则地分布在笔刷单元内则呈现出较机械的感觉, 所以我们在模型中采用确定性与随机性控制相结合的方法来决定散点位置。下面分别介绍在四边形和三角形单元内控制散点位置的方法。

1) 四边形内散点分布

设四边形的顶点按顺序为 P_1, P_2, P_3, P_4 , 其中 P_1P_2 与 P_4P_3 是对边。我们先利用下面的插值方程分别在 P_1P_2 与 P_4P_3 上取出两个点 P_s 和 P_e ,

$$P_s = P_1 + u(P_2 - P_1) \quad (3)$$

$$P_e = P_4 + u(P_3 - P_4) \quad (4)$$

这里 $0 < u < 1$ 是插值变量。再用插值变量 $0 < v < 1$ 对 P_s 和 P_e 进行随机插值, 我们可得到散点 P_t 如下:

$$P_t = P_s + v(P_e - P_s) + \text{rnd}(r) \cdot V(P_t) \quad (5)$$

当 u 和 v 分别以步长 u 和 v 从 0 增至 1 时, 散点 P_t 可以逐个被分布到四边形内。因为

u 和 v 决定散点密度, 它们与散点数量的关系是 $\text{Pr}tlN = 1/(\Delta u \cdot \Delta v)$ 。

2) 三角形内散点分布

设三角形的三个顶点分别为 P_1, P_2, P_3 , 我们先计算该三角形中点 P_0 , 然后利用变量 u 对 P_0 与 P_1 , P_0 与 P_2 , P_0 与 P_3 作插值运算分别得到 P_{1u} , P_{2u} , P_{3u} 三个点, 这三点构成与三角形 $\Delta P_1P_2P_3$ 同心并相似的三角形 $\Delta P_{1u}P_{2u}P_{3u}$, 再沿它们三个边的两个端点分别进行随机插值使散点分布在三个边线附近。当 u 从 0 增大到 1 时, 三角形 $\Delta P_{1u}P_{2u}P_{3u}$ 随之变大从而使散点“覆盖”整个三角形 $\Delta P_1P_2P_3$ 。

3.3 颜料扩散

颜料扩散可以在笔刷单元周围分布一些散点来模拟。扩散宽度 $D\text{Pr}tlW$ 定义了颜料扩散程度, 散点数量 $D\text{Pr}tlN$ 可用与式(2)结构相同的方程来确定, 但对应的确定性分量与随机扰动分量要小一些。各散点颜色可直接用式(1)确定。

3.4 整体控制

因为曲面上的小四边形或三角形的形状以及笔刷的基色变化过分规则, 在曲面上直接应用上述笔刷模型在形状上和颜色上仍有较机械的感觉。为了减轻这种规则的机械感, 我们随机扰动曲面上各结点位置使笔刷单元形状有一定程度畸变, 同时对各个笔刷单元的基色也加入随机扰动。二者综合作用的结果明显增强了手工绘画的感觉。

在实际中我们有可能使用大面积的四边形对物体建模(见本文附图 2)。考虑到画家在画大面积区域时往往要画许多笔, 所以我们把大面积四边形进一步细分成若干小四边形, 然后按顺序对它们逐一应用前面的笔刷模型。对大面积三角形用同样方式处理。

4 模型结构

综合上述, 我们的模型结构可以表示如下:

曲面预处理:

- (1) 确定每个多边形单元的基色;
 - (2) 对曲面上每个结点位置进行局部扰动;
- 对每个多边形单元
- (单元内颜料模拟)
 - (1) 用基色填充该单元;
 - (2) 确定散点数量;
 - (3) 如果是四边形单元,则在四边形内确定各散点位置;
 - (4) 如果是三角形单元,则在三角形内确定各散点位置;
 - (5) 确定各散点颜色并绘出。
 - (单元周围颜料扩散)
 - (1) 确定扩散宽度;
 - (2) 确定扩散点数量、位置和颜色;
 - (3) 绘出各扩散点。
- 循环到下一个单元直至遍历曲面为止。

5 图例

图 1 和图 2 是用本文提出的三维计算机水粉笔刷模型绘制出来的两个图例,一个是冬天松树林前空地上的雪人,另一个是水泥板铺的人行路面。从中我们可以看到该模型在应用到三维曲面表示物体上后能够很好地体现水粉特性以及手工绘画的效果。



图 1 松林前的雪人



图 2 人行路面

6 结束语

水粉颜料的物理特性决定了它的视觉效果有别于水彩画和油画。本模型结构十分简单，却能很好地再现水粉效果。与 Miere 的油画模型和 Curti 的水彩模型相比较，我们的水粉绘制模型不需要生成参考图象，也不需要进行繁杂的流体模拟，从而大大地减少了计算量。

在手工水粉绘画中，画家由于其用笔和用色的不同而形成多样的绘画风格。本模型采用四边形或三角形作为笔刷单元的优点是它可以直接应用到传统的三维曲面上，但同时也限制它只能再现用笔细腻的水粉效果。在实际中有的画家喜欢用大笔刷画出风格粗犷的画面，解决这个问题的方法是设计多层笔刷模型，在不同层次上定义不同形状以及不同尺寸的笔刷，然后用户可根据需要调动它们以生成不同风格的水粉画面。

参考文献

- [1] T. Whitted, "Anti-aliased line drawing using brush extrusion", SIGGRAPH'83, 1983, pp151-156.
- [2] R. Green, "The drawing Prism: A versatile graphics input device", SIGGRAPH'85, 1985, pp103-110.
- [3] P. van Berkel, "SIAS, strokes interpreted animated sequences", Computer Graphics Forum, vol 8, 1989, pp35-45.
- [4] S. Strassmann. "Hairy brushes", SIGGRAPH'86, 1986, pp225-232.
- [5] Q. Guo and T.L. Kunii, "Modeling the diffuse paintings of 'sumei'", Modeling in Computer Graphics, 1991.
- [6] Y.J. Pang and H.X. Zhong, "Drawing Chinese traditional painting by computer", Modeling in Computer Graphics, 1991.
- [7] 王钺旋, 庞云阶, "一个计算机书法系统", 《计算机辅助设计与计算机图形学学报》, 第三期, 1991, pp35-40.
- [8] S.C. Hsu and I.H.H. Lee, "Drawing and animation using skeletal strokes", SIGGRAPH'94, 1994, pp109-118.
- [9] 于金辉, 张积东, 丛延奇, "一个基于物理的笔刷模型", 《计算机辅助设计与计算机图形学学报》, 第八卷, 第四期, 1996, pp241-245.
- [10] B.J. Meier, "Painterly rendering for animation", SIGGRAPH'96, 1996, pp477-484.
- [11] C.J. Curtis, S. E. Anderson, J.E.Seims, K.W. Fleischer, D.H. Salesin, "Computer-Generated Watercolor", SIGGRAPH'97, 1997, pp421-429.
- [12] M. C. Sousa and J.W. Buchanan, "Computer-Generated Graphite Pencil Rendering of 3D Polygonal Models", EUROGRAPHICS'99, vol 18, No 3. 195-207.
- [13] M. A. Kowalski, L. Markosian, J.D. Northrup, L. Bourdev, R. Barzel, L.S. Holden, J. F. Hughes, "Art-Based Rendering of Fur, Grass, and Trees", SIGGRAPH'99, 1999, pp433-438.

作者简介：

于金辉，副教授，在哈尔滨工程大学获学士和硕士学位，在英国 Glasgow 大学计算机系获博士学位，研究方向为计算机动画与计算机美术。

徐晓刚，博士后，在大连舰艇学院获硕士学位，在大连理工大学获博士学位。研究方向包括 CAGD，系统仿真，图象图形处理。

彭群生,教授,博士生导师,浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室主任,目前主要研究领域:
虚拟现实,可视化,工程图纸扫描识别,几何造型,计算机动画等。