

复杂纹理的生成与定位技术*

鲍虎军 傅 晟 彭群生

(浙江大学 CAD & CG 国家重点实验室 杭州 310027)

摘要 本文提出了一种直接在三维景物表面上进行纹理喷绘的复杂纹理生成技术. 与传统二维喷绘系统不同, 本方法实时地将每一笔划所确定的颜色值作为某种纹理属性直接在景物表面上喷绘出各种纹理及光照效果. 利用该技术, 我们可方便地解决相邻表面间纹理的连续拼接及多重纹理之间的过渡问题. 结果表明, 本方法可用来生成非常复杂的纹理.

关键词 纹理映射, 二维绘画, 几何纹理.

现实世界中, 景物表面常具有非常复杂的纹理细节. 若采用传统造型工具去对这些纹理细节一一进行造型, 然后再进行场景绘制显然是不切实际的. 一方面, 这会导致大量的人力和计算耗费; 另一方面, 由于计算机的容量有限, 难以生成高度复杂的场景. 考虑到人眼对景物表面纹理细节的辨别是有限的, 从 70 年代中期开始, 许多研究者试图采用一些数字化的二维图象来模拟景物表面的纹理细节, 从而导致了纹理映射技术的诞生, 为真实感图形的生成提供了一条捷径.

从原理上来说, 纹理映射技术分独立的 2 步进行: ①建立景物表面到纹理空间的映射; ②实现纹理绘制的反走样. Catmull 注意到参数曲面到纹理空间的映射实际上是参数曲面定义式的逆函数, 首先提出了一个有效的参数曲面逆向颜色纹理映射算法.^[1] 后来, 该算法被 Blinn 改进为正向参数曲面的纹理映射算法.^[2] 这 2 种方法的缺点是映射依赖于景物表面的参数表示, 它们很难应用于多边形表示的物体. 为此, Bier 等提出了独立于景物表示的 2 步纹理映射技术.^[3] 该技术首先用一个中间表面, 如球面、圆柱面、正方体等, 将景物表面包裹起来, 由于中间表面与纹理空间之间的对应关系非常容易建立, 因而, 一建立好景物表面与中间表面的对应关系, 我们就可建立起景物表面与纹理空间的对应关系. 从技术上来说, 纹理映射技术的难点在于纹理的反走样, 尽管 Catmull 和 Blinn 的纹理映射技术成功地实现了纹理的反走样, 但这 2 种方法均非常耗时. 目前, 常用的实时反走样方法是 Williams 的 mipmap 方法^[4] 和 Crow 的求和面积表方法^[5], 这些方法的特点是预先计算存储好各种分

* 本文研究得到国家自然科学基金资助. 作者鲍虎军, 1966 年生, 博士, 副研究员, 主要研究领域为光照明模型, 计算机动画和可视化技术, 真实感图型算法等. 傅晟, 1969 年生, 博士生, 主要研究领域为虚拟现实, 计算机动画和真实感图形等. 彭群生, 1947 年生, 教授, 博士生导师, 浙江大学 CAD & CG 国家重点实验室副主任, 主要研究领域为真实感图形, 计算机动画, 三维几何造型, 工程图纸扫描输入等.

本文通讯联系人: 鲍虎军, 杭州 310027, 浙江大学 CAD & CG 国家重点实验室

本文 1996-03-04 收到修改稿

分辨率的纹理图象,从而为快速确定各种大小区域内的平均纹理提供了方便. 尽管颜色纹理有效地增强了景物表面的纹理细节,但它无法模拟景物表面的各种凹凸纹理. 1978年, Blinn提出了著名的几何纹理映射技术^[6], 该技术通过挠动参数曲面的法向来模拟表面的凹凸感.

由于二维纹理映射技术仅考虑每一景物表面上的纹理细节,因而它无法解决相邻表面纹理细节之间的连续过渡问题,从而大大影响了图形的真实感. 为克服二维纹理映射技术的这一缺点, Perlin 和 Peachey 分别提出了三维纹理映射技术.^[7,8]与二维纹理映射不同,三维纹理映射技术将纹理直接定义在三维空间中,这样,景物空间到纹理空间的映射简化为平凡的嵌入映射,且各相邻景物表面到纹理空间的映射是相同的. 由于三维纹理的连续性,因而生成的相邻表面的纹理亦是连续的. 但三维纹理的生成则较为困难,目前常用一些过程函数来模拟各种纹理.

鉴于二维纹理可由直接喷绘、扫描、拍摄得到,与计算机模拟的三维纹理相比,其真实性更高,那么,我们能否通过二维纹理映射技术来实现相邻表面间纹理拼接,最终生成复杂的纹理呢? 回答是肯定的. 本文采用在三维景物表面上直接喷绘的方法来生成复杂的表面纹理细节,由该方法可方便地实现景物表面的纹理定位及相邻纹理之间的连续拼接.

1 二维纹理映射及二维绘画原理

二维纹理映射实际上是三维景物表面 $3D-Object$ 到纹理空间 $2D-Image$ 的一个映射,它定义为:

$$T: 3D-Object \rightarrow 2D-Image$$

一般地,景物表面 $3D-Object$ 表示成一张参数曲面或多边形网格,而纹理空间 $2D-Image$ 则表示为一平面区域. 为方便起见,在后面的讨论中,不妨假设景物表面为定义在正方形区域 $[0,1] \times [0,1]$ 上的参数曲面,纹理空间与参数空间完全等同.

由于已有图象的纹理映射往往满足不了许多特定场景的需要,许多设计者转而采用传统二维绘画方法来喷绘出所需的纹理图象,然后将它映射到所需景物表面上. 尽管这一方法引进了创作者的艺术思维,大大增强了纹理的真实性,但它有一致命的弱点,即很难对所生成的纹理进行精确定位. 传统二维绘画技术完全模拟了人作画的过程,每一画面均由创作者在一块画布上使用各种颜色的画笔喷绘而成. 由于创作者对每一画笔所使用的色彩和位置有直接的把握,因而,可自由地驾驭画面的整体布局. 若将所作的画面映射到景物表面上,则由于传统二维纹理映射技术的局限性,很难将画面上的某些特定纹理精确映射到景物表面的指定区域上,如用纹理绘制人脸上的口红、眉毛等. 由于创作者无法直接驾驭所绘画面(纹理)在景物表面上的布局,创作者不得不反复对所绘画面(纹理)进行调整、修改,直至映射后获得满意的效果为止. 即使如此,这种方法仍无法解决相邻表面间纹理的连续性问题.

2 景物表面的直接喷绘技术

本节我们将介绍一种直接在三维景物表面上进行喷绘的方法. 该方法的操作完全类似于二维绘画技术,所不同的是,本方法所绘的每一笔均以一定方式投影到景物表面上,并经该表面的二维逆纹理映射 T 转换并记录到所对应的纹理区域上. 显而易见,绘制后的景物表面效果完全等同于绘画过程所观察到的效果.

2.1 画笔投影方法

画笔的定义与传统二维绘画系统一样,其形状有圆、椭圆、正方形、长方形及多边形等.从原理来说,每一笔划可由一画笔沿一条中心轨迹线扫描而成.为便于后面的修改、调整,我们记录下每一笔划的中心线及画笔的形状和大小,同时,记录下其代表的纹理属性及喷绘顺序.除了传统的覆盖、透明、半透明等绘画功能外,本方法还增加了凹凸几何纹理等功能,这些功能将每一笔划所绘的色彩映射为恰当的表面纹理属性,最终达到传统二维绘画方法无法得到的效果.因而,问题的关键是如何直接在三维景物表面上进行喷绘.这里,我们采用笔划投影技术.不妨假设景物表面的参数表达式为:

$$P(u,v) = (x(u,v), y(u,v), z(u,v)) \quad (u,v) \in [0,1] \times [0,1]$$

并假设参数空间与纹理空间完全等同.

一个直接的投影方法是取参数曲面的参数域(纹理空间)为画布,直接在上面进行二维喷绘,然后通过纹理映射将所绘画面映射到景物表面上.为获得精确的纹理定位,可先在参数曲面上确定需喷绘的区域,然后将上述区域转化为参数域上的对应区域.

考虑到直接在参数曲面上确定区域比较困难,我们采用下述投影方法克服这一问题.算法首先确定投影方向,然后以投影方向作为 x' 方向,在景物中心处建立右手坐标系 $O'x'y'z'$,并计算出该景物在 $O'x'y'z'$ 坐标系下的各表面分别平行于坐标平面的长方体包围盒.这样,我们只需在该长方体包围盒在 $y'z'$ 平面上的长方形投影区域内进行二维喷绘,然后按下述方式将各区域投影到景物表面上即可.由于每一笔划的轮廓线均可表示成一条封闭平面曲线 $r(s)$, $r(s)$ 沿投影方向 V 拉伸形成了一张直纹面,其方程可表示为: $g(s,t) = r(s) + tV$, 故由轮廓线 $r(s)$ 构成的笔划沿 V 方向在景物表面上投影区域是 $g(s,t)$ 与景物参数表面 $P(u,v)$ 的交区域(图1).注意到上述交区域可能包括多个单连通区域,用户在操作时,可交互确定当前笔划所喷绘的区域,这些区域再逆映射到当前参数曲面的参数域(纹理空间)上,并记录每一笔划所喷绘的位置和颜色,且前后笔划所绘的颜色可根据它们的功能相互混合.由于喷绘时,可不断调整投影方向,因而,这一方法可复合生成非常复杂的纹理,最后经三维场景的绘制程序,就可得到所需的纹理细节效果.

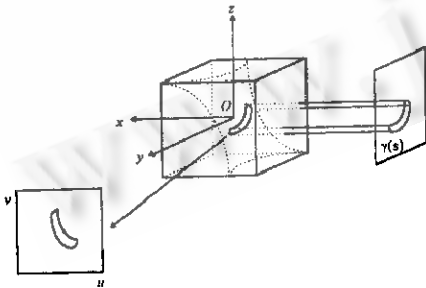


图1 笔划投影几何

若将上述方法应用到标准的三视图加透视图显示窗口中,则我们可在这4个窗口中的任一窗口中进行喷绘,此时,投影方向 V 分别为3个世界坐标轴方向和视线方向.若一景物由多个参数表面拼接而成,为获得连续的纹理过渡,此时,不能单独地对每一表面进行处理,而是应整体地建立该景物包围盒来进行喷绘.此时,每一笔划被分别投影到每一张参数表面上,其纹理值亦被分别

记录到相应的纹理空间中.至此,我们完成了算法原理的描述.

2.2 实时喷绘技术

为了使用户实时观察到他所绘的画面在三维景物表面上的映射效果,我们首先对参数表面进行预剖分处理.

为方便起见,不妨假设在透视图窗口内对参数表面进行喷绘.算法首先根据当前参数表面

关于摄像机的相对位置和朝向,将参数表面预剖分成一系列仅覆盖一个象素大小的小面片.假设画面绘制采用如下的 Phong 光照明模型:

$$I(C) = [1 - \text{transparency}(C)] [k_a I_a + k_d \cdot \text{Obj-Color}(C) \sum_{i=1}^{\text{LightNum}} (N \cdot L_i) + k_s \sum_{i=1}^{\text{LightNum}} I_i (R \cdot L_i)^n]$$

其中 $C=r, g, b$, LightNum 为场景中对当前参数表面起作用的点光源个数, R 为视线的单位反射向量, N 为参数表面的单位法向, Obj-Color 为参数表面的颜色, 则每一可见小面片在屏幕上投影所覆盖象素的数据结构中应存储以下几个信息:

- P : 每一小面片的中心位置;
- (u, v) : P 点的参数(纹理)坐标;
- N : P 点处的单位法向;
- L_i : P 点指向第 i 个点光源的单位向量;
- R : 视线在 P 点处的单位反射向量.

这样,对喷绘的每一笔划,根据其功能,一方面,我们可用上一节方法,将其记录到纹理区域上;另一方面,我们可直接用前述 Phong 模型对笔划所经象素区域进行光亮度计算.当前笔划作为颜色纹理时,则当前笔划的色彩直接取代 Obj-Color ;若作透明纹理时,则其色彩作为透明度 transparency ;若作凹凸纹理,则其色彩用来挠动表面法向 N ,并采用挠动后的法向来计算光亮度,其它纹理效果可类似处理.

值得指出的是,当前参数表面移动、旋转、比例缩放或视点变化时,参数表面需重新预剖分,以便调整其分辨率,否则,会产生严重的走样现象.尽管对复杂表面的剖分尚不能完全达到实时要求,而一旦完成预剖分过程,后面的喷绘过程就完全能达到实时,这为用户提供了及时的反馈信息,以便于后面作修改调整.

3 执行结果

本算法已在浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室的 SGI 4D-35 工作站上实现.图 2(a)是用一张 B 样条曲面表示的人脸的原始图形,图 2(b)是用覆盖画笔在图上喷绘眉毛、眼睛和口红的结果,图 2(c)是在其嘴唇上用灰度凹凸纹理画笔喷绘上皱纹效果后的图形.图 2(d)则是用彩色凹凸纹理画笔在其右脸上喷绘的疤痕效果.图 3 是用本方法实现的相邻参数曲面之间的纹理拼接.为易于说明,我们首先采用了 1 幅 64×64 的木材纹理图象作为一笔划直接投影在由 6 张参数曲面拼接而成的一方形物体上,然后用圆形覆盖画笔在上面喷绘出“浙江大学 CAD&CG”字样.由得到的效果可看出,本方法很好地解决了相邻景物表面之间的纹理连续拼接问题.

4 结 论

本文介绍了一种直接在景物表面上进行喷绘的复杂纹理生成技术,该技术成功地解决了传统纹理映射技术中难以克服的纹理拼接问题.与传统二维喷绘系统不同,本方法将所喷绘的图象以适当的方式映射到景物表面上,并被记录在相应的纹理空间中.最后,我们通过

对景物表面的预剖分,提出了一种实时的三维参数表面喷绘技术,用户可方便地交互修改所喷绘的各种纹理效果.该技术具有很强的应用背景,可方便地溶入到各个三维动画系统中.

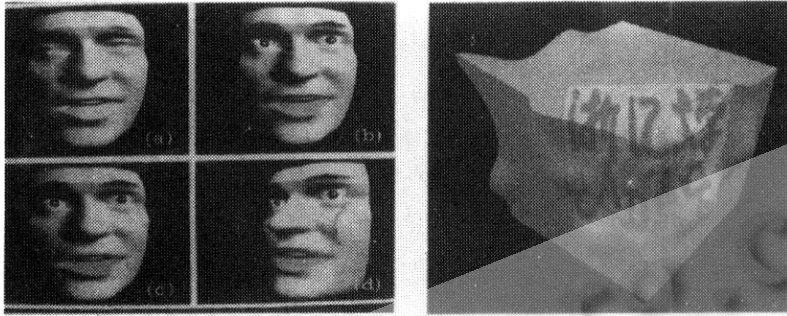


图 2 一张人脸纹理效果的喷绘过程 图 3 相邻表面的纹理连续拼接

参 考 文 献

- 1 Catmull E E. A subdivision algorithm for computer display of curved surfaces. Ph.D dissertation, Salt Lake City: University of Utah, Dec. 1974.
- 2 Blinn J F. Texture and reflection in computer generated images. Comm. ACM, 1976,19(10):542~547.
- 3 Bier E A, Sloan K R. Two-part texture mapping. IEEE Computer Graphics Applications, 1986,6(9):40~53.
- 4 Williams L. Pyramidal parametrics. Computer Graphics, 1983,17(3):1~11.
- 5 Crow F C. Summed-area tables for texture mapping. Computer Graphics, 1984,18(3):207~212.
- 6 Blinn J F. Simulation of wrinkled surfaces. Computer Graphics, 1978,12(3):286~292.
- 7 Peachey D R. Solid texturing of complex surfaces. Computer Graphics, 1985,19(3):279~286.
- 8 Perlin K. An image synthesizer. Computer Graphics, 1985,19(3):287~296.

A GENERATION AND PLACEMENT TECHNIQUE FOR COMPLEX TEXTURES

Bao Hujun Fu Sheng Peng Qunsheng

(State Key Laboratory of CAD&CG Zhejiang University Hangzhou 310027)

Abstract A technique for painting directly on 3D surfaces is proposed to synthesize complex textures in this paper. Different from the conventional 2D paint system, the color painted by each stroke is applied as surface attributes to set up various textures and shading effects on 3D surfaces in real time. The approach allows users to continuously blend the texture on adjacent surface and blend multi-layer textures on the same surface. Results demonstrate that the method can be employed to create very complex textures.

Key words Texture mapping, 2D paint, bump mapping.