

基于样图的木材体纹理绘制方法

江巨浪^{1),2)} 张佑生¹⁾ 薛峰¹⁾

¹⁾(合肥工业大学计算机与信息学院,合肥 230009) ²⁾(安庆师范学院物理与电气工程学院,安庆 246011)

摘要 传统的体纹理绘制方法采用函数模型定义体纹理空间的颜色,模拟不同的纹理特征需要反复调整与测试相关参数,且在多数情况下不能获得令人满意的结果。以木材体纹理绘制为例,提出了一种基于样图的体纹理绘制新方法。该方法针对木材纹理的结构特点构造样图空间与体纹理空间的几何映射关系,采用木纹样图的像素纹理值定义体纹理空间的颜色。实验结果表明,绘制的纹理不仅较好地模拟了木纹样图中的纹理特征,而且在物体各表面交界处保持连续。由于纹理样图可根据用户需要任意选取,基于样图的体纹理绘制方法显著提高了计算机生成木纹的真实感与多样性。

关键词 纹理映射 体纹理绘制 木材体纹理绘制 样图

中图法分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2006)06-0848-07

Wood Solid Texturing Based on Specimens

JIANG Ju-lang^{1),2)}, ZHANG You-sheng¹⁾, XUE Feng¹⁾

¹⁾(School of Computer Science and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

²⁾(School of Physics and Electrical Engineering, Anqing Teacher's College, Anqing 246011)

Abstract The color of solid texture space is defined traditionally through a function model. To simulate different texture details, the relevant parameters need to be modified and tested repeatedly, however good results could rarely be acquired. A new method of solid texturing based on specimens is proposed in the paper. We establish geometrical mappings between the specimen space and solid texture space according to the structure characteristic of wood texture, and define the color of solid texture space using the texture value of specimen pixels. The results from our experiments show that the wood texture produced by this method successfully represents realistic texture details on the specimens and is continuous between the conterminous surfaces of objects. As the wood specimens may be selected according to user's requirements, solid texturing based on specimens is a superior technique which could evidently promote the quality and the variety of wood texturing.

Keywords texture mapping, solid texturing, wood solid texturing, specimen

1 引言

纹理映射是用于绘制物体表面纹理细节的一项重要技术,现已在真实感图形绘制中得到广泛的应用。木质器具的表面纹理细节可以采用纹理映射技术来生成。2 维的纹理映射方法,如 Catmull 算法^[1]与两步纹理映射算法^[2],都可用于将木纹图案映射到物体表面。由于这些方法绘制的木纹在同一物体

相邻表面的交界处不能连续,并产生严重的纹理变形,现已较少应用。目前商业软件中应用较多的是采用 Peachey 与 Perlin 提出的体纹理绘制方法^[3,4]。该方法针对物质材料的内部结构特点而定义相应的纹理函数模型,根据函数模型直接计算物体表面的纹理值。木材体纹理函数模型大多定义为一系列颜色呈周期或半周期变化的共轴圆柱面,用以模拟树木的年轮特征;再加入扰动函数与噪声函数以模拟实际木材纹理的随机性。体纹理绘制技术生成的木

基金项目:国家自然科学基金项目(50379003);安徽省自然科学基金项目(03042207);安徽省教育厅自然科学基金项目(2005KJ096)

收稿日期:2005-01-17;**改回日期:**2005-09-08

第一作者简介:江巨浪(1967~),男,副教授。现为合肥工业大学计算机应用专业博士研究生。主要研究方向为计算机图形学、虚拟现实与图像处理。已发表论文 10 余篇。E-mail:jiangjulung@126.com

纹在相邻表面交界处能保持连续,有效提高了木纹的真实感。

体纹理绘制技术近年来有所发展,但主要集中在体纹理绘制加速技术与体纹理函数模型的构造技术方面^[5-7],绘制结果依赖于函数模型及其参数的选择。当绘制木材体纹理时,得到的结果通常是具有一般特征的“典型木纹”。若用于绘制不同品种的实际木材纹理,需要对模型中的参数反复调整与测试,难以得到满意的结果。一些文献对木纹的函数模型及相关参数的构造提出了各自的建议^[8-10]。遗憾的是,自然界中的木材种类繁多,其纹理千差万别,多数情况下并不能得到有效的参数^[11],因而在绘制木材体纹理时具有很大的局限性。本文提出一种基于样图的体纹理绘制新方法。与传统体纹理绘制方法不同,该方法不是利用算法来定义体纹理空间的颜色,而是针对木纹的结构特点,通过建立2维样图空间与3维体纹理空间中点的映射关系,运用样图中的像素纹理值定义体纹理空间的颜色。不同品种木纹的样图可用数码相机拍摄,从互连网下载或通过其他途径得到。可应用数据库管理技术,建立样图数据库,收集和管理各种各样的木纹样图,供用户选用。木纹样图的多样性,使应用该方法绘制的木材纹理可逼真地模拟不同木材的纹理特征,而且由于体纹理绘制的特点,绘制的纹理在物体各相邻表面连接处能保持连续,因而具有自然与逼真的视觉效果。

2 基于样图的体纹理绘制方法

2.1 样图空间的定义

由于纹理样图的质量直接影响到体纹理的最终绘制效果,样图的选择应满足以下几点要求:

- (1) 反映经过树干中心线的平整剖面;
- (2) 光照条件近似均匀;
- (3) 充分反映所选木材品种的纹理细节与特征;
- (4) 尺寸足够大。

图1为一木纹样图示例。其中,线段MN表示树干中心线位置,矩形ABCD表示样图,其上所有像素纹理值构成了一个样图空间。为了便于算法描述,设样图的宽度与高度分别用 w_s 与 h_s 表示,并在图1中定义了2维样图空间坐标系,其中,B点为坐标系原点, u 轴与 v 轴正向分别经过C点与A点。

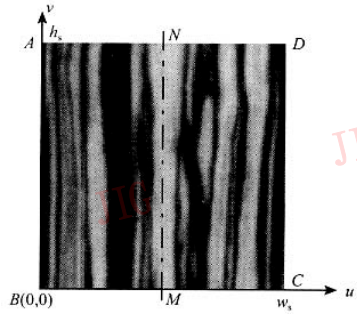


图1 木材样图空间坐标系

Fig.1 Coordinates system of wood specimen space

2.2 体纹理绘制过程

基于样图的体纹理绘制方法是利用样图来定义体纹理空间颜色的,因此需要根据实际物体的纹理结构特征建立体纹理空间与样图空间的几何映射关系。此外,体纹理绘制过程需要对样图进行采样,采样方式可根据需要选择点采样或区域采样。

基于点采样方式的体纹理绘制过程主要包括以下步骤:

- (1) 将屏幕上任一像素 e 的中心映射至景物空间中对应于物体表面上的一点 P ;
- (2) 通过从景物空间到体纹理空间的转换,将 P 点映射至体纹理空间点 P' ;
- (3) 建立体纹理空间与样图空间几何映射关系,将体纹理空间的点 P' 映射为样图上的点 P'' ;
- (4) 以样图上点 P'' 对应的纹理值作为 P 点的纹理属性,在选定的光照模型下计其最终显示颜色值并赋给屏幕像素 e 。

区域采样方法与点采样方法的体纹理绘制过程基本相似。不同之处在于,区域采样方式不是将屏幕像素作为一个点而是作为一个正方形区域来看待,因而其对应于景物表面为一个面片,该面片的纹理属性最终由样图空间中所对应平面片的平均纹理值确定。

3 木材体纹理空间的颜色定义

不同种类的木材因其遗传因素和成长环境的千差万别形成了各具特色的纹理,但木材纹理的共同特征仍然是能够反映树木年龄的“一圈圈”年轮。按照木纹样图在体纹理空间构造一系列不同颜色的圆柱面来模拟木材纹理的这一特征,为此需要先建

立样图空间与体纹理空间中点的几何映射关系,然后利用样图定义体纹理空间的颜色。

3.1 基本定义

如图 2 所示,利用木纹样图定义体纹理空间颜色的一个简单方法是:将样图置入体纹理坐标系中,然后将半边样图 $MNAB$ (或 $MNDC$) 绕样图中心线 MN 旋转一周,其轨迹构成一个 3 维的圆柱体空间,该空间即为与样图空间相对应的体纹理空间。该体纹理空间可看成由一系列不同半径的圆柱面叠加而成,其中每一圆柱面都可看成是样图上 v 轴方向直线的旋转轨迹,其颜色正是由该直线上各点的纹理值来确定。

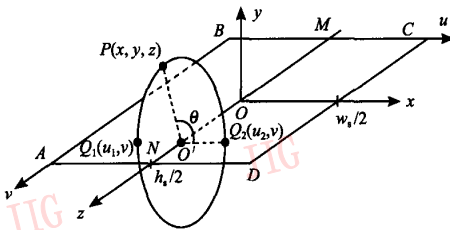


图 2 样图空间与体纹理空间的映射关系

Fig. 2 Mapping between specimen space and solid texture space

具体算法描述如下:将样图坐标系嵌入体纹理坐标系中,与体纹理坐标系的 xOz 平面相重合,样图中心置于原点 O , u 轴、 v 轴分别与 x 轴、 z 轴平行,则样图中心线 MN 与 z 轴重合。对于体纹理空间中的任意一点 $P(x, y, z)$,过 P 做一关于 z 轴对称的圆周线,其圆心为 O' ,半径为 $\sqrt{x^2 + y^2}$ 。圆周线与样图平面相交于两点 Q_1 与 Q_2 ,设它们在样图坐标系中坐标分别为 (u_1, v) 和 (u_2, v) ,则 P 点与 Q_1 和 Q_2 两点之间的几何映射关系为

$$\begin{cases} u_1 = \frac{1}{2}w_s - \sqrt{x^2 + y^2}, v = \frac{1}{2}h_s + z \\ u_2 = \frac{1}{2}w_s + \sqrt{x^2 + y^2}, v = \frac{1}{2}h_s + z \end{cases} \quad (1)$$

体纹理空间中 P 点的颜色可简单地取为样图空间 Q_1 点的颜色值:

$$T_p = \text{texture}(u_1, v) \quad (2)$$

其中, $\text{texture}(u_1, v)$ 表示 Q_1 点的纹理值。按照这种定义方法,根据图 1 样图绘制的木材体纹理效果如图 3(a)。可以看出,在树干横截面上呈现一系列单一颜色的圆周线,这是因为上述定义方法使体纹理空间中沿同一圆周线上各点的颜色没有变化。

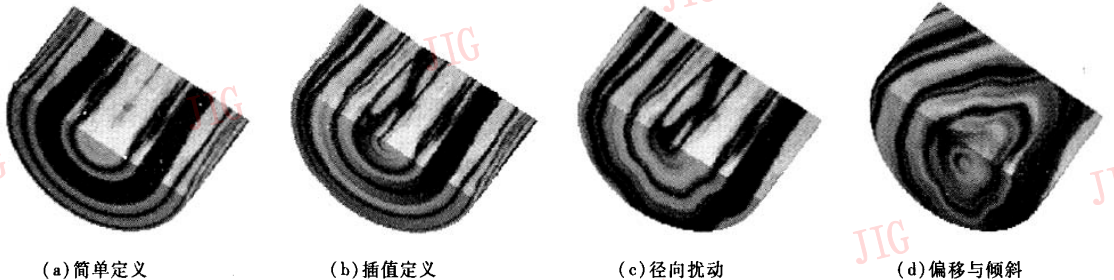


图 3 体纹理空间的不同定义方法对应不同的木材体纹理绘制效果

Fig. 3 Results of rendering wood solid texture based on different defining of solid texture space

3.2 插值方法

为使体纹理空间中的颜色不至于单调,通过对样图中心线两边对应点颜色的插值来定义体纹理空间的颜色,使径向横截面的各个圆周线上的颜色均匀变化。该方法不是简单地将 Q_1 点的颜色直接赋给体纹理空间的 P 点,而是通过对 Q_1 与 Q_2 两点纹理值进行插值计算得到 P 点的颜色值。计算公式为

$$T_p = \text{texture}(u_1, v) \frac{\theta}{\pi} + \text{texture}(u_2, v) \frac{\pi - \theta}{\pi} \quad (3)$$

其中, $\theta = \arccos \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} \in [0, \pi]$ 为径向线段 $O'P$

与 x 轴正向的夹角, $\text{texture}(u_1, v)$ 与 $\text{texture}(u_2, v)$ 分别为 Q_1 与 Q_2 的纹理值。

用插值方法定义的体纹理空间颜色绘制的木材体纹理效果如图 3(b) 所示。可以看出,树干横截面任一圆周线上的颜色都在逐渐变化。

3.3 径向扰动

实际上,木材的年轮并不是均匀分布的“光滑圆圈”。因此,与实际的木纹相比,上述木材体纹理过于规范。为了使这些“圆圈”发生不同程度的随机变形与波动,在 P 点的半径 $\sqrt{x^2 + y^2}$ 上叠加一个扰动函数,其具体形式由一系列不同频率与幅度的

正弦函数叠加而成:

$$\eta(\theta) = \sum_{i=0}^k A_i \sin(\alpha_i \theta) \quad (4)$$

其中, α_i 代表沿圆周方向的扰动频率, k 为不同频率正弦分量的个数, A_i 代表各分量的幅度。对于不同特点的木纹, 这些参数可做相应的调整。

这样, 得到插值与径向扰动的综合方法。这种方法的体纹理空间中 P 点颜色的计算式为

$$T_p = \text{texture} \left[\frac{1}{2} w_s - \sqrt{x^2 + y^2} (1 + \eta(\theta)), \frac{1}{2} h_s + z \right] \frac{\theta}{\pi} + \text{texture} \left[\frac{1}{2} w_s + \sqrt{x^2 + y^2} (1 + \eta(\theta)), \frac{1}{2} h_s + z \right] \frac{\pi - \theta}{\pi} \quad (5)$$

按照式(5)定义体纹理空间颜色绘制木材体纹理的效果如图3(c)所示。其中, k 取为3, 木纹波动幅度 A_1 、 A_2 与 A_3 分别取为0.04、0.02与0.01, α_1 、 α_2 与 α_3 则分别取为2.5、5.0与10.0。这样, 沿圆周方向上的木纹就不那么规则了, 真实感得到了增强。

3.4 偏移与倾斜

绘制木质物体的纹理时, 还可通过使物体预先偏移体纹理空间中 z 轴(对应于树干轴线)一定的距离以及倾斜物体中心线一定角度来获取不同的绘制效果。其可通过在体纹理空间中对物体进行平移与旋转来实现。设物体在体纹理空间中的起始坐标为 (x, y, z) , 则平移与旋转之后的坐标 (x', y', z') 可通过下式计算:

$$\begin{bmatrix} x' & y' & z' \end{bmatrix}^T = T_1 T_2 \begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix}^T \quad (6)$$

其中, T_1 、 T_2 分别是平移与旋转矩阵。经过上式变换所得新坐标值代入式(5)计算, 即可获得物体相对于树干轴线进行偏移与倾斜的效果, 如图3(d)所示。这种效果模拟了加工物品时取材随机性所引起的表面木纹的随意性。

4 样图空间的纹理采样

4.1 样图尺寸放大处理

如前所述, 根据样图定义的体纹理空间的形状是一个以 z 轴为轴线的圆柱体, 其直径等于样图的宽度 w_s , 长度等于样图高度 h_s 。因此, 体纹理空间的大小取决于样图尺寸。而进行纹理映射时, 则要求体纹理空间完全包围待绘纹理的物体。为此, 以 z 轴为轴线做一个圆柱体包围盒, 使物体的所有待绘制纹理的表面都位于该包围盒之内。若包围盒直

径 d 与高度 h_b 同时满足: $d < w_s$ 与 $h_b < h_s$, 则物体位于体纹理空间之内, 否则必须预先对样图尺寸进行放大, 以扩大体纹理空间范围。放大倍数 C 由下式计算:

$$C = \max \left(\frac{d}{w_s}, \frac{h_b}{h_s} \right) \quad (7)$$

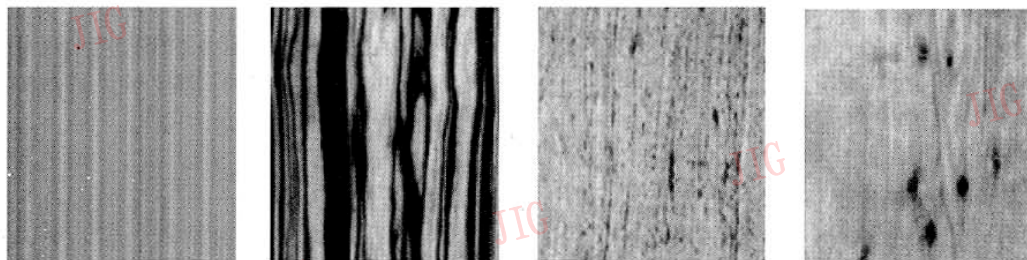
样图尺寸放大有两种方式, 一种是基于插值的图像放大方法, 主要有双线性插值、三次样条插值和精度可选择的B样条插值等方法^[12], 它们放大图像的质量依前后顺序提高, 但计算量则依次增加。考虑样图放大在绘制纹理之前进行, 其计算量大小并不影响到纹理绘制速度, 故可选择质量较好的方法。基于插值的样图放大方法, 其主要缺点是样图中的纹元尺寸也相应地被放大了, 当原始的样图很小时, 较高的放大倍数导致放大后的纹理模糊不清。

另一种样图尺寸放大方法是采取纹理合成方法, 即给定小块的纹理样本, 合成视觉上相似的与连续的大块纹理。较为典型的有Wei算法^[13]与Efros^[14]算法, 用于木材纹理合成都能取得较为理想的效果。Wei算法是一种确定性搜索的纹理合成方法, 采用多分辨率合成和矢量编码加速技术, 在输入图像中搜索与当前合成像素的 L 邻域具有最大相似性 L 邻域的点来合成纹理; Efros算法是基于块缝合的纹理合成算法, 通过查找误差最小的路径实现各块的拼接, 各纹元间拼接质量很高, 对多种类型的纹理都能取得很好的效果。

4.2 样图空间中的纹理采样

体纹理绘制过程中对样图的采样有两种方式可选择: 点采样与区域采样。基于点采样的体纹理绘制方法是将屏幕像素的中心在体纹理空间对应点的坐标代入式(5)计算, 并将计算结果作为物体表面的纹理属性, 然后在相应的光照模型下计算最终颜色值并作为该像素的显示颜色。点采样方法的主要缺点是当一个屏幕像素覆盖多个纹理像素时, 会产生纹理走样。但这种方法计算量小, 适合于纹理的实时绘制或者对纹理绘制质量要求不高的场合。样图空间中的纹理值通常以纹理数组的形式进行存储, 代表一系列整数坐标处的纹理值。样图空间中的采样点通常并不位于整数坐标处, 其纹理值的计算应通过对相邻的整数坐标处的纹理值的插值计算得到。由于双线性插值方法在插值精度与算法效率两方面有一个较好的折中, 因此可作为首选。

在要求纹理质量较高的场合, 由于点采样方式



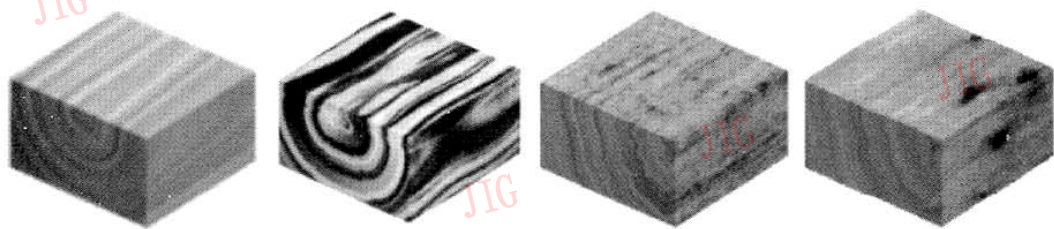
样图1

样图2

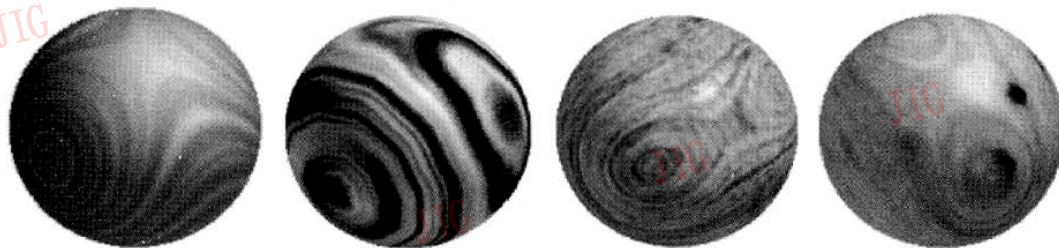
样图3

样图4

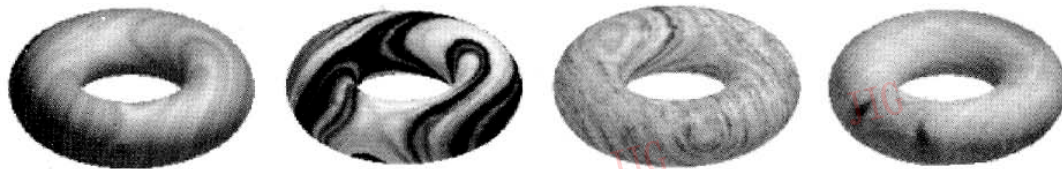
(a) 样图



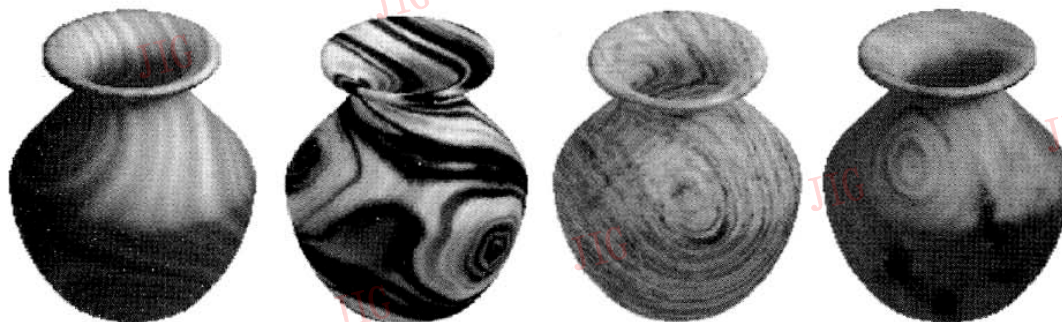
(b) 方块



(c) 球面



(d) 圆环



(e) 花瓶

图 4 基于木纹样图的木材体纹理绘制结果

Fig. 4 Solid texturing of wood Based on different specimens

可能导致纹理走样,不能满足纹理质量要求。这时,可采用区域采样方式,即对于屏幕的每个像素,在体纹理空间用一个可见曲面片的平均纹理颜色与之对应。利用上文所述的几何映射关系,该可见曲面片在样图空间中映射为两个平面片。用平面片的平均纹理颜色代入式(5)计算,则结果为该像素对应于体纹理空间中曲面片的平均纹理颜色。为了快速确定样图空间中平面片的平均纹理值,可采用基于查表方法的纹理反走样技术,如 mip-map 技术、区域求和技术、椭圆加权平均滤波技术等^[15]。

5 实验结果与讨论

从木材生产企业的网站上下载了一些有不同特点的木纹样图用于木材体纹理绘制。部分样图尺寸较小,在绘制之前用 B 样条插值方法对样图进行了放大预处理。物体被置入体纹理空间时,使其偏离 z 轴一定的距离,倾斜一定的角度。体纹理空间的颜色采用插值与径向扰动相结合的方法进行定义,样图纹理采样使用基于查找表的 mip-map 技术,采用 phong 光照模型绘制出不同形状物体表面上的纹理,如图 4 所示。

图中第一行是 4 幅样图。其中样图 1 中的木纹具有纹理方向性强、噪声小与轴向扭曲小的特点;样图 2 中,木纹沿轴向扭曲,很不规则;样图 3 的木纹有较密集的高频噪声,样图 4 中的木纹则有若干明显的树结。根据这 4 幅样图分别绘制出长方块、球面、圆环及花瓶上的木纹,如图中 2~5 行所示。从图 4 可以看出,基于样图的绘制方法不仅使样图中木纹的轴向不规则扭曲、纹理噪声以及树结等木纹特征在不同形状物体的表面得到了很好的表现,而且所绘制的木纹在物体的各个相邻表面交界处保持了连续性。随着几种物体相对树干中心线不同程度的偏移与倾斜,获得各具特色的木材体纹理视觉效果。

目前的图形软件在物体表面添加木纹的方法主要有两种。一种方法是采用“贴图”方式,边界纹理不连续的情况难以避免;另一种方法是体纹理绘制方法,而不同品种木材的纹理特征难以通过参数设置来模拟。本文提出的基于样图的体纹理绘制方法取得了其他体纹理绘制技术难以取得的真实感效果,具有明显的优越性。

6 结论

目前的木材体纹理绘制方法用于模拟不同种类木材的体纹理时,有较大的局限性。针对木材纹理的结构特点,通过建立样图空间、体纹理空间和待绘纹理物体表面之间的几何映射关系,实现了一种新的木材体纹理绘制方法。实验结果表明,基于样图的体纹理绘制方法不仅较好地表现了不同品种木材样图中的纹理细节与纹理特征,而且所绘制的木纹在物体各相邻表面交界处保持了纹理的连续性。因木纹样图可大量收集,用时根据需要选择,故本文的方法具有绘制纹理多样性与真实感强的特点。基于样图的体纹理绘制方法,也可进一步推广到其他物质体纹理的绘制。

参考文献 (References)

- 1 Catmull E A. Subdivision Algorithm for Computer Display of Curved Surfaces [D]. Utah, USA: Department of Computer Science, University of Utah, 1974.
- 2 Bier E A, Sloan K R. Two-part texture mappings [J]. IEEE Computer Graphics and Application, 1986, 6(9): 40~53.
- 3 Peachey D R. Solid texturing of complex surfaces [J]. Computer Graphics, 1985, 19(3): 279~286.
- 4 Perlin K. An image synthesizer [J]. Computer Graphics, 1985, 19(3): 287~296.
- 5 Thon S, Dischler J M, Ghazanfarpour D. Ocean waves synthesis using a spectrum-based turbulence function [A]. In: Proceedings of Computer Graphics International [C], the Geneva Switzerland, 2000: 65~72.
- 6 Chen B Y, Nishita T. Adaptive solid texturing for Web3D applications [A]. In: Proceedings of 10th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications [C], Beijing, China, 2002: 433~434.
- 7 Schmitt B, Pasko A, Adzhiev V, et al. Texturing through constructive modeling [A]. In: Computer Graphics, Spring Conference on [C], the Budmerice Slovakia, 2001: 190~200.
- 8 Ye A G, Lewis D M. Procedural texture mapping on FPGAs [A]. In: Proceedings of the 1999 ACM/SIGDA Seventh International Symposium on Field Programmable Gate Arrays [C], Monterey, CA, USA, 1999: 112~120.
- 9 Dong Quan-wu, Liang Sun-dong. An approach of the design and implementation of solid texture [J]. Journal of Computer Aided Design & Computer, 2000, 12(6): 401~404. [董全武, 梁训东. 一种实体纹理的设计方法和实现 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2000, 12(6): 401~404.]
- 10 Fu Jing-song, Zhang Dian-cheng. Representation and rendering of wood texture [J]. Journal of Computer Aided Design & Computer,

- 1994, 7(2):109 ~ 114. [伏劲松, 张奠成. 木材纹理的表示与绘制方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 1995, 7(2): 109 ~ 114.]
- 11 Xu Xiao-gang, Bao Hu-jun, Ma Li-zhuang. Texture synthesis of multi-samples based on relational principles[J]. Progress in Natural Science, 2002, 12(6): 665 ~ 669. [徐晓刚, 鲍虎军, 马利庄. 基于相关性原理的多样图纹理合成方法[J]. 自然科学进展, 2002, 12(6): 665 ~ 669.]
- 12 Lehmann T M, Gonner C, Spitzer K. Addendum: B-spline interpolation in medical image processing[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 2001, 20(7): 660 ~ 665.
- 13 Wei L Y, Marc L. Fast texture synthesis using tree-structured vector quantization[A]. In: Proceedings of SIGGRAPH' 2000 [C], the New Orleans, USA, 2000: 479 ~ 488.
- 14 Efros A A, Freeman W T. Image quilting for texture synthesis and transfer [A]. In: Proceedings of SIGGRAPH' 2001 [C], Los Angeles, California, USA, 2001:341 ~ 346.
- 15 Ewins J P, Waller M D, White M, *et al.* MIP-map level selection for texture mapping [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 1998, 4(4): 317 ~ 329.