

源自样图的树皮纹理合成技术研究

曹璐¹, 杨刚², 王忠芝², 黄心渊³

CAO Lu¹, YANG Gang², WANG Zhong-zhi², HUANG Xin-yuan³

1.北京林业大学 信息学院 数字媒体实验室, 北京 100083

2.北京林业大学 信息学院 数字媒体教研室, 北京 100083

3.北京林业大学 信息学院, 北京 100083

1.Lab of Digital Media, School of Information Science & Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2.Staff Room of Digital Media, School of Information Science & Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

3.School of Information Science & Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

E-mail: cl.1206@163.com

CAO Lu, YANG Gang, WANG Zhong-zhi, et al. Bark texture synthesis by patch-based sampling. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(30): 194-197.

Abstract: Bark textures realization is a major problem in the field of visualization for virtual trees. It is a tough job to simulate abundant details on the bark's surface and the progressively-variant transition effects across different locations on the trunk. A method for synthesizing realistic bark textures is presented. The method adopts the idea of patch-based sampling strategy, and can generate a whole piece of trunk according to some bark texture samples. The generated bark textures can efficiently avoid the seam problem caused by common texture mapping approach. Furthermore, by controlling the synthesis probability, the method can successfully simulate the progressively-variant transition effects between the old parts of bark to the tender parts. In addition, this paper also simulates the scar effects on the bark by using scar samples and utilizing edge melting method. Experimental results show that the realistic bark textures synthesized by this method can exhibit the features of tree growth change so as to satisfy the need of realistic tree representation.

Key words: texture synthesis; bark texture; progressively-variant textures; edge melting

摘要: 树皮的真实感表达是树木可视化中的一个重要问题。树皮表面纹理具有丰富的细节, 并且树干不同部位的纹理质地可能会发生渐变, 要真实模拟树皮纹理的这些效果并不简单。提出一种真实感树皮纹理的合成方法。该方法基于块纹理合成的思想, 可以根据几块树皮样图纹理, 实现树干部分整张树皮纹理的合成。采用这种合成方法, 有效避免了采用一般纹理拼接方法所造成的纹理接缝问题。并且, 该方法采用一种控制合成概率的策略有效实现了不同质地的树皮纹理之间的渐变, 从而能够真实表现出树皮由老到嫩逐渐变化的效果。基于样本及边缘融合的方式实现了树皮疤痕效果的生成。实验表明, 该方法可以有效生成带有生长变化特征的真实感树皮纹理, 满足真实感绘制的需求。

关键词: 纹理合成; 树皮纹理; 纹理渐变; 边缘融合

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.30.058 文章编号: 1002-8331(2009)30-0194-04 文献标识码: A 中图分类号: TP391.41

1 引言

随着真实感自然场景模拟及农林可视化需求的发展, 真实感植物模拟日益成为一个研究热点。至今已出现了大量有关树木真实感建模及绘制的工作[1-2]。在树木的真实感模拟中, 树皮是一个重要表现内容。树皮表面具有丰富的色彩细节和几何细节, 并能够反映出树木生长变化的特征, 对树木的真实感

模拟具有重要作用。尽管现今的图形学技术能够达到高质量的树木绘制, 但对树皮效果的细致研究和高度真实感模拟还不多见。大多数仍是采用简单的纹理重复性映射来实现树皮效果的模拟。这种纹理重复性映射的方式具有明显的缺陷, 表现在: (1) 树皮图案出现明显的重复性, 影响真实感效果的表现; (2) 难以实现树皮纹理的各种生长变化效果, 例如树皮从树干根部到上

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)(the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2006AA10Z232); 国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60703006); 国家科技支撑计划项目(No. 2006BAD10A03)。

作者简介: 曹璐(1983-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为数字图像处理; 杨刚(1977-), 男, 讲师, 博士学位, 主要研究方向为计算机图形学; 王忠芝(1964-), 女, 副教授, 主要研究方向为图像处理、景观动画; 黄心渊(1965-), 男, 教授, 博士生导师, 博士, 主要研究方向为虚拟现实技术、计算机动画和多媒体技术。

收稿日期: 2008-06-12 **修回日期:** 2008-09-16

部由老到嫩的逐渐变化效果,以及树皮表面的疤痕效果等等。

近年来,基于样图的纹理合成技术得到了很大的发展。采用这种技术,可以根据一小块纹理样本,合成出具有相似视觉特征的大块纹理。这为真实感树皮纹理的生成提供了可行之路。该文即基于纹理合成技术对树皮的真实感模拟进行研究,以生成高度真实感的树皮纹理。

通过观察,发现不同高度的树皮具有不同的纹理特征,基部的树皮老,质地粗糙,颜色暗黄;顶部的树皮嫩,质地光滑,颜色鲜绿。为反映树皮这种从老到嫩逐渐过渡的效果,首先根据树干上不同高度部位的样本纹理,合成出相应高度部位上围绕树干一周的树皮纹理。这一过程称为“横向合成”。“横向合成”生成了树干上不同高度具有不同老嫩程度的树皮纹理。之后,利用这些横向合成的纹理,沿树干方向进行树皮纹理的“纵向合成”。在纵向合成过程中,在两块纹理的拼接处引入过渡区域,并在此区域内利用一个逐渐变化的概率分布来控制纹理合成,以实现不同老嫩程度纹理间的逐渐过渡。此外,树皮上断裂的老枝干处及其他地方会出现结疤。为真实表现树皮的这种结疤效果,该文算法在合成的树皮纹理上添加一些事先采集的疤痕样本,并在结疤添加过程中,根据结疤的灰度图进行边界融合,使结疤边界与底图的重叠部分有一个平滑过渡。

2 相关工作

基于样图的纹理合成(texture synthesis from samples)^[3]技术是近几年迅速发展起来的一种新的纹理拼接技术,它利用纹理本身具有的局部相似性,从小块纹理样本合成出具有相似视觉特征的大块纹理。该方法不需要采用复杂的数学参数模型来对纹理进行表示,而是通过对输入纹理的直接采样得到需要合成的结果。Efros等^[4]在1999年首先提出了基于邻域匹配的逐点合成方法。它通过对比目标纹理中待合成点的邻域和输入图像中所有点的邻域,查找同待合成点邻域最“匹配”的点来作为合成点的值;Wei等^[5]采用多分辨率合成的策略,并利用树结构的矢量量化方法大大提高了合成速度;Ashikhmin^[6]针对自然纹理的合成提出了一种限定合成邻域的算法。这种方法避免了穷尽搜索,更加简单快速。

Xu等^[7]在2000年提出了随机块拼接的纹理合成方法。在其方法中,纹理合成是一块一块地进行,而不是逐点进行,从而很好地提高了速度。此后,基于块拼接的合成方法得到了很大发展。Efros等^[8]提出一种“图像缝合(Image Quilting)”算法,该算法根据待合成块的邻域区搜索匹配块,并采用最小误差路径法来实现各块的拼接。Liang^[9]也提出了类似的方法,只不过采用了“羽化(feathering)”的方式来处理块与块间的重叠区。与逐点合成法相比,逐块合成法不但提高了速度,而且采用了邻域匹配以及羽化融合等方式使得块与块之间能够很好地衔接,大大改善了对结构性较强纹理的合成效果。该文方法即采用了逐块纹理合成的思想。

在纹理合成技术的研究中,如何实现纹理效果的渐变也是一个研究热点。Hertzman^[10]于2001年提出了“图像类比(Image analogies)”的方法。该方法分析两幅具有相同内容不同艺术风格的图像之间的“滤波”关系,并通过纹理合成的方式将其应用在其他目标图像上,使之变化为与源图像有相似艺术风格的新图像。图像类比方法可以实现许多图像变化的特殊效果。Liu^[11]等人研究了一种 pattern-based 方法来实现纹理变形。该

方法能够在源图像纹理和目标纹理之间生成一系列过渡纹理,从而实现纹理之间的平滑转变。Tonietto^[12]提出一种方法,可使合成纹理的纹元大小产生渐变效果。Zhang等^[13]提出“渐变式纹理”的合成方法,可以合成方向、大小和纹理图案发生渐变的纹理效果。合成时,为实现方向和大小的渐变,作者在输出纹理中建立“方向场”和“大小变化场”来分别控制纹理的合成方向和大小;为实现两种纹理间的渐变效果,作者采用了 feature-based 方法提取两种纹理的特征,并利用 Mask 图来指导纹理合成,最终实现两种纹理间的渐变。以上纹理渐变的方法都采用了逐点合成的方式。Lin等^[14]则提出基于块纹理合成方法生成能够反映向量场大小和方向变化的纹理效果。由于采用了逐块合成的方式,这种方法可以有效合成结构性较强的纹理;并且速度很快。Tonietto^[12]和 Lin^[14]中的纹理渐变方法主要是实现同种纹理间不同大小和方向的过渡,而在树皮纹理合成中需要实现的是树皮上老嫩程度不同的纹理间的过渡。经过观察,不同老嫩程度的树皮间的差别主要是色泽和粗糙程度,而纹理结构上的过渡并不明显。针对这种情况,提出了一种简单有效的纹理渐变方法:采用渐变的合成概率图来控制两种纹理过渡区域的合成,从而实现两种纹理间的渐变效果。

一些研究工作者针对树皮的真实感模拟进行了研究,但這些工作一般都集中于对树皮裂纹的形成进行模拟。Federl等^[15]和 Hirota等^[16]研究了树皮裂纹的真实感模拟,但是其方法主要用来表现局部小裂纹。2002年,Sylvain Lefebvre等^[17]构造了一个模拟树皮裂纹生成的真实感模型,可以生成带有明显裂纹或大裂缝效果的树皮几何模型,也可用于生成二维的树皮纹理。该方法可以达到非常逼真的模拟效果,但此方法仅限于模拟具有裂纹的树干类型,缺乏对其他树皮纹理特征的研究。

3 树皮纹理合成

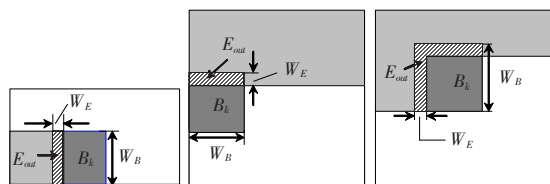
根据几小块树皮纹理的样图来合成整张的树皮纹理。这些样图纹理可以通过拍照等方式获得。

根据样图纹理,采用逐块合成方法,首先进行横向树皮纹理的合成,即合成树干不同高度部位上围绕树干一周的树皮纹理。为了使合成纹理映射到圆柱形树干上时能够无缝拼接,在横向合成时需要实现纹理左右边界的无缝连接。在横向合成之后,需要将横向合成的局部纹理沿树干方向进行树皮纹理的纵向合成。纵向合成时,在两块纹理的拼接处引入过渡区域,以实现不同老嫩程度纹理间的逐渐过渡。此外,为模拟树皮上的结疤效果,还采用边界融合的方式在合成的树皮纹理上进行疤痕样本的添加。下面分别对“横向合成”、“纵向合成”及结疤的生成方法进行介绍。

3.1 横向合成

采用 Liang^[9]的块合成方法实现树皮的横向合成。Liang 方法按照扫描线顺序(即顺次逐行或逐列)对纹理进行逐块合成,每一个合成块都采用相同大小的正方形块。采用从上到下,从左到右的顺序进行逐块合成。如图 1 所示,目标纹理的浅灰色部分表示已合成部分,斜线部分 E_{out} 表示待合成块(深灰色部分)与已合成部分的重叠区。Liang 方法搜索样本纹理,从中找出所有边界区颜色与 E_{out} 相差小于一定阈值的块,然后从这些块中随机选出一块作为匹配块填充到待合成块的位置。在目标纹理的不同位置 E_{out} 的形状会有所改变:在合成第一行及第一列时, E_{out} 的形状是长方形(如图 1(a)和 1(b)的斜线部分所

示);而在合成其他纹理块时, E_{out} 代表一块“L”型重叠区域(如图 1(c)所示)。在找到合成块后,需要对相邻两块的边界区域进行羽化操作(feathering)来提供一个平滑的过渡。所谓“羽化”就是将两个区域的颜色值进行融合处理。



(a)合成目标纹理的第一行 (b)合成目标纹理的第一列 (c)合成目标纹理的其他区域

图 1 基于块的纹理合成

(浅灰色区域是已经合成的部分。深灰色区域是待合成块 B_k 。斜线部分是边界重叠区 E_{out})

在“横向合成”中,为避免合成的纹理映射到圆柱形树干上时产生接缝,在合成时需要最右一列纹理合成块进行特殊处理。如图 2 所示,合成最右列纹理块时,其纹理的边界区形状为“ Π ”型;而在“ Π ”型区域中, P 块区域的颜色值就是 Q 块区域中的内容。当然,进行第一行最右一列的合成时,由于没有上边界的影响因子,所以边界区的形状将变成左右两个宽为 W_E 高为 W_B 的长方形。采用这种方法就能合成出左右边界可以无缝拼接的纹理。如图 3 所示的合成效果。由于采用了块纹理合成的方式,该方法不但能够合成随机性强的纹理,而且对于那些结构性较强的树皮纹理也可以取得很好的效果。

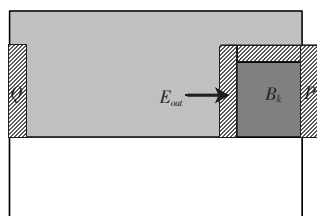


图 2 块纹理合成中,最后一列的“ Π ”型边界区域 (斜线部分 E_{out})

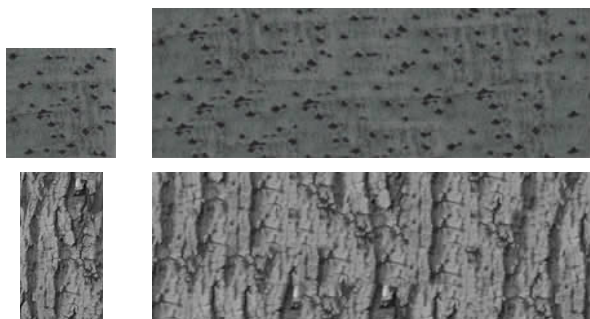


图 3 横向合成效果图,其合成纹理的左右边界可以无缝拼接

3.2 纵向合成

纵向合成时需要实现树干上不同老嫩程度纹理的渐变效果。在纵向合成这种渐变效果的纹理时仍然采用了块纹理合成的方式。为实现两块不同老嫩程度的树皮纹理间的平滑过渡,在进行合成时,引入一幅“合成概率图”来控制合成操作。假设要实现从纹理 A 到纹理 B 的平滑过渡,则“合成概率图”中某部位的概率值 a 就表示合成该部位时从块 A 中选取合成块的

概率;而概率值 $(1-a)$ 就是从 B 中选取合成块的概率。在两幅纹理的过渡区域内,概率分布呈现一种由大到小的逐渐过渡,从而控制过渡区域内由 A 到 B 的逐渐过渡。

如图 4 所示,左边一列上下两张纹理分别代表新、老树皮的样本纹理;中间的“合成概率图”中,白色区域代表用新树皮样本纹理合成,黑色区域代表用老树皮样本纹理合成,中间的渐变过渡区域颜色有浅至深,颜色越浅,表示利用新树皮样本纹理进行合成的概率就越大;反之亦然。右边就是在这幅概率图控制下的树皮合成效果。

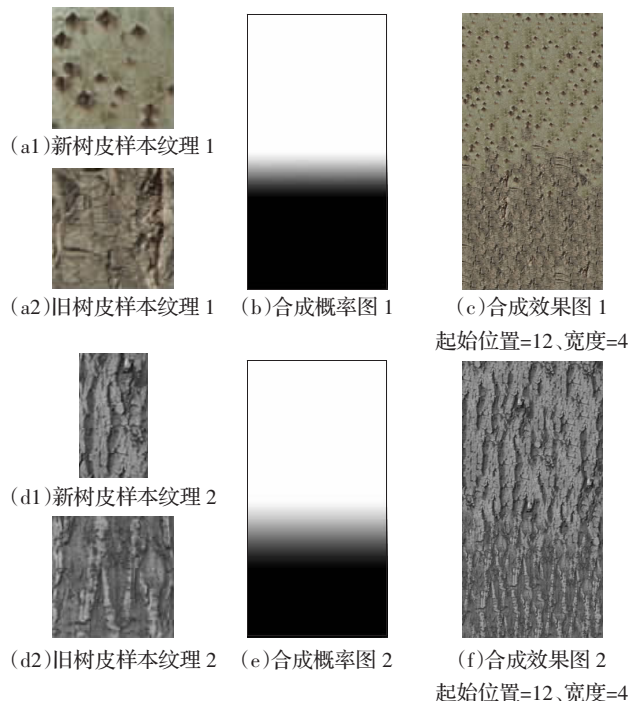


图 4 “合成概率图”控制下的纵向合成

图 4 中的“合成概率图”的制作非常简单:用户首先指定过渡区域的起始位置和终止位置;起始位置处的概率为 0,终止位置为 1;则过渡区域内的概率值就通过线性插值的方式来生成,从而实现概率值由 0 到 1 的逐渐过渡。

值得一提的是,这种“合成概率图”的方式不仅仅可以用于模拟老嫩树皮纹理间沿树干方向的渐变过渡;而且,通过设计灵活多变的“合成概率图”,可以任意控制合成区域不同纹理间的渐变,实现丰富的纹理渐变效果。

3.3 结疤的添加

树皮的纹理并不是一直平滑整齐的,在原先长过枝节的地方,由于枝节的脱落会形成结疤,如图 5 所示。在该文方法中,可以通过在合成好的纹理中添加一些结疤样本来实现这种结疤效果的模拟。结疤样本可以事先从照片中采集处理而得到。如果直接往合成纹理上添加结疤,由于边界过渡比较突然,往往会使效果显得非常突兀,为此需要在添加疤痕时对边界进行平滑过渡处理。对每幅结疤样本都生成其相应的融合图,此融合图中会沿结疤的边界设置一个过渡区域,以实现结疤与树皮纹理的融合。

如图 6 中的右图所示,融合图中黑色区域全由底图来填充,白色区域全由结疤纹理来填充;而结疤边界一定宽度内的灰度值设置为平滑过渡,以此实现结疤与树皮纹理的融合。



图5 具有结疤的树皮纹理

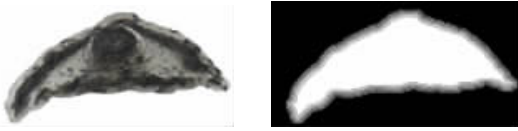


图6 结疤与树皮纹理的融合

4 实验结果与分析

主要以毛杨树皮作为例子进行了实验。实验中采用的合成块大小为 24×24 的正方形块。边界区域的宽度设为4个像素。合成参数可以根据具体原始纹理结构情况进行调整,以达到更好的合成效果。实验平台为:Duo T2250 CPU;512 MB 内存。图7给出了一些采用该文方法合成的纹理;图8是将该文合成纹理应用于树干模型上的真实感绘制效果。可以看出,采用该文方法合成的纹理可以很好地表现树皮表面的纹理变化效果,具有较高的自然真实度。

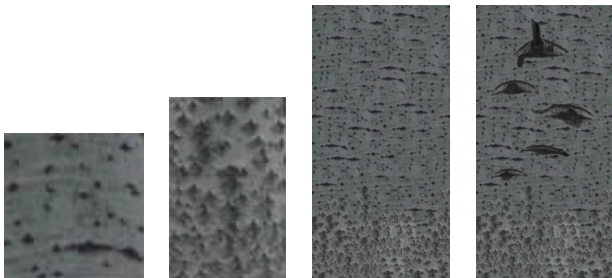


图7(a)新树皮样本图 图7(b)老树皮样本图 图7(c)合成效果,其中合成块的大小为24;边界区域宽度为4;合成时间为7.485 s 图7(d)添加疤痕后的纹理效果图

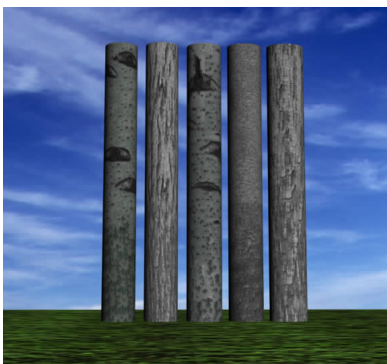


图8 应用于树干模型上的三维效果图

5 结论

基于纹理合成的思想提出了一种真实感树皮纹理的合成方法。该方法能够由样本纹理生成包裹树干的整张树皮纹理。

在合成过程中,该方法采用合成概率渐变的方式实现了树皮表面纹理由老到嫩的变化效果,并采用颜色融合的方式添加了树皮表面的疤痕特征,使所生成的纹理具有较高的自然真实度。由于采用了块合成的方式,该文方法可以较好地保持纹理中的结构信息,并且合成速度较高。

树皮的真实感模拟仍然有许多问题需要解决。例如,由于树干的直径和弯曲程度可能发生变化,采用直接映射纹理的方式可能会使纹理随树干的变化而发生扭曲和变形;而且树干分枝处的纹理也会出现不连续。这都需要作进一步地深入研究。

参考文献:

- [1] 胡包钢,赵星,严红平,等.植物生长建模与可视化——回顾与展望[J].自动化学报,2001,27(6):816-835.
- [2] Boudon F, Meyer A, Godin C. Survey on computer representations of trees for realistic and efficient rendering[R/OL]. LIRIS, 2006. <http://www-sop.inria.fr/virtualplants/Publications/2006/BMG06>.
- [3] 徐晓刚,鲍虎军,马利庄.纹理合成技术研究[J].计算机研究与发展,2002,39(11):1405-1411.
- [4] Efros A A, Leung T K. Texture synthesis by non-parametric sampling[C]//IEEE International Conference on Computer Vision, Corfu Greece, 1999:1033-1038.
- [5] Wei Li-yi, Levoy M. Fast texture synthesis using tree-structured vector quantization[C]//Proc of ACM SIGGRAPH. New Orleans: ACM Press, 2000:479-488.
- [6] Ashikhmin M. Synthesizing natural textures[C]//Proc ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, North Carolina, USA, 2001:217-226.
- [7] Xu Y, Guo B, Shum H Y. Chaos mosaic: Fast and memory efficient texture synthesis, Technical Report MSR-TR-2000-32[R]. Microsoft Research, 2000.
- [8] Efros A, Freeman W T. Image quilting for texture synthesis and transfer[C]//SIGGRAPH 2001, Los Angeles California, USA, 2001:341-346.
- [9] Liang L, Liu C, Xu Y, et al. Real-time texture synthesis by patch-based sampling, Technical Report MSR-TR-2001-40[R]. Microsoft Research, 2001.
- [10] Hertzmann A, Jacobs C E, Oliver N, et al. Image analogies[C]//ACM Computer Graphics (Proc of SIGGRAPH'01), 2001:327-340.
- [11] Liu Zi-qiang, Liu Ce, Shum H Y, et al. Pattern-based texture metamorphosis[C]//Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, 2002:184-193.
- [12] Tonietto L, Walter M. Towards local control for image-based texture synthesis[C]//Proceedings of SIB-GRAPI, July 2002:252-258.
- [13] Zhang Jing-dan, Zhou Kun, Velho L, et al. Texture synthesis over arbitrary manifold surfaces[C]//Proc of ACM SIGGRAPH. Los Angeles: ACM Press, 2001:355-363.
- [14] 林亮亮,杨刚,黄浩达,等.基于纹理合成的向量场可视化[J].计算机辅助设计与图形学学报,2006,18(11):1677-1682.
- [15] Federl P, Prusinkiewicz P. A texture model for cracked surfaces, with an application to tree bark[C]//Proceedings of Western Computer Graphics Symposium, March 1996:23-29.
- [16] Hirota K, Kato H, Kaneko T. A physically-based simulation model of growing tree barks[J]. IPSJ Journal, 1998, 39(11).
- [17] Lefebvre S, Neyret F. Synthesizing bark[J]. Rendering Techniques, 2002:105-116.