

基于结构相似性判别的织物纹理合成方法^①

A Method of Fabric Texture Synthesis Based on Structural Similarity Distinguishing

曹建勋 莫灿林 杨文珍 (浙江理工大学机控学院 浙江 杭州 310018)

摘要: 从保持织物图形图案的连续性和完整性出发,提出一种针对织物图形图案设计的纹理合成方法。在建立纹理边界结构信息图的基础上,利用结构相似性算法进行纹理合成,从而解决了纹理合成时出现纹元紊乱的问题,弥补了单纯考虑颜色误差的不足,保证了织物纹理间结构信息的连续性,从而更好地保证了纺织品的印花图案在视觉上的连贯性。

关键词: 结构相似性 纹理合成 纺织品

1 引言

纹理合成技术是图形真实感技术的重要组成部分,它通过对景物表面细节的模拟,表现现实场景的真实性,因此,纹理合成技术一直以来都是图形学研究的重要方向。在印花纹样的设计中无不充斥着真实感技术的影子。自从 1974 年 Catmull 发明纹理映射技术以来^[1],纹理合成技术得到长足的发展,但是纹理映射技术需满足从纹理空间到三维空间的映射关系,如果映射关系发生偏差,映射时就会产生严重的变形。过程纹理合成通过直接模仿物体表面的物理生成过程^[2],来获取其纹理,例如,像毛皮,云雾,木纹等,这种方法可以获得非常逼真的纹理,但是过程纹理合成技术需反复调整参数,比较繁琐而且有时因无法得到有效参数,而达不到理想的效果。基于样图的纹理合成方法主要采用 MRF 模型^[3],利用纹理块之间的相似性的原理,对纹理进行合成。该方法能有效模拟自然界中的大部分纹理,但是对结构性强的纹理进行合成时,纹理容易发生走样,究其原因主要是在选取最佳匹配块时,只考虑到纹理块之间的颜色因素,忽略了纹理块之间的结构因素。虽然 Efros 在 2001 年的 SIGGRAPH 会议上提出了一种基于块拼贴的纹理合成算法^[4],比起以往的算法,该算法在合成纹理的视觉效果方面得到了较大的提高,从一定程度上解决了以往算法纹理模糊,纹元错位严重等问题,

但是该方法很难对纹理的局部细节进行有效的模拟。纺织纹理是一种对纹理之间的细节要求较高的纹理,任何一个局部细节的走样,将直接影响到纺织纹理经纬线的绘制^[5]。

因此,为满足纺织纹理对结构的特殊要求,本文采用结构相似性判别的纹理合成方法,对纺织纹理进行纹理合成,解决了以往纹理合成中因未考虑结构因素而导致纹元紊乱的问题。

2 织物纹理结构信息的预处理

2.1 构建纹理边界结构信息图

边界信息是纹元之间颜色跳跃明显高频的地方。本文利用边界闭合算法标记纹元的边界信息,以此来构建纹理边界结构信息图。纹理边界信息结构图一旦生成就能应用,且生成过程并不占用纹理合成的时间。构建边界结构信息图须经过四个步骤:

①图输入计算机。

②样图进行灰度处理。

③建并保存幅度图和角度图。

④据所给定的阈值,通过对纹元的边界信息的标记,获得纹理边界结构信息图。

在步骤③,主要采用公式(1)计算像素点的幅度值,同时利用公式(2)计算像素点的角度值,通过公式(3)和公式(4)分别计算出相邻像素点之间幅度差和角

^① 基金项目:浙江省自然科学基金项目(Y106102)

收稿时间:2008-10-10

度差。当幅度差和角度差分别小于它们设定的阈值时，连接满足要求的相邻像素点，从而构建对应的幅度图和角度图。

$$\text{Grad}(f(x,y)) = \frac{\|f(x,y) - f(x+1,y)\| + \|f(x,y) - f(x,y+1)\|}{2} \quad (1)$$

式(1)中 $\text{Grad}(f(x,y))$ 值表示纹理的幅度值， $f(x,y)$ 表示像素点的颜色值， (x,y) 表示像素点在位图中的坐标位置。

$$\text{Arac}(f(x,y)) = \arctan\left(\frac{|f(x,y) - f(x+1,y)|}{|f(x,y) - f(x,y+1)|}\right) \quad (2)$$

式(2)中 $\text{Arac}(f(x,y))$ 表示纹理的角度值。

$$|\text{Grad}(f(x,y)) - \text{Grad}(f(s,t))| < T \quad (3)$$

$$|\text{Arac}(f(x,y)) - \text{Arac}(f(s,t))| < A \quad (4)$$

式(3)(4)中 T 表示幅度差， A 表示角度差。

2.2 人工交互边界结构处理

在构建纹理边界结构信息图的过程中，由于织物纹理的边界颜色跳跃性的差异，势必影响纹理边界结构信息图的建立，且对同一幅纹理图，设定不同阈值 T 和 A 就会出现两幅不同的纹理边界结构信息图，因此为了获得更加理想的纹理边界结构信息图，以便对纹理结构相似做准确判断，本文采用人工交互的方法，对以下三种织物纹理做如下处理：

①糊型边界织物纹理图的边界结构比较清晰，但是其区域的颜色跳跃性不够明显，捕捉其纹元的跳跃信息比较困难，为了更好的得到模糊型织物纹理的边界点，经过测试，幅度图的 T 值取 20-30，角度图的 A 值取 10-15，能比较清晰的凸现边界结构点。图 1(b)是当 A 取 1 和 T 取 1 时的纹理边界结构信息图，其中边界点由于颜色跳跃性不明显，很难被提取到，图 1(c)是当 T 取 25 和 A 取 12 时的纹理边界结构信息图，实验表明，模糊边界织物纹理图的边界点 A 和 T 值取较大值能比较清晰的获得边界结构信息图。

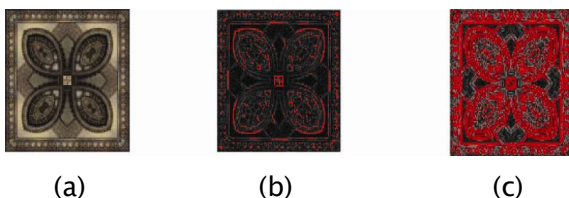


图 1 模糊型边界处理图

②晰性边界织物纹理图是指边界结构比较清晰，且区域颜色跳跃性明显，灵敏性比较强，容易使一些噪声点，误判断为边界结构点。经过测试，取 A 和 T 的值在 0-5 之间，能得到较好的纹理边界结构信息图。图 2(b)是 A 取 15 同时 T 取 15 的纹理边界结构信息图，很明显图中的边界结构信息比较模糊，图 2(c)是 A 取 1 同时 T 取 1 的纹理边界结构信息图。实验表明，清晰性边界织物纹理图的阈值取较小值，能得到满意的边界结构信息图。

③合型边界织物纹理图是指边界结构不够明显，且颜色跳跃性也很弱，此类型的纹理图案很难清晰获得纹理边界结构信息图。经过测试，幅度阈值 T 取 10-20，角度阈值 A 取 5-10，能较好得到纹理边界结构信息图。图 3(b)为 A 取 5， T 取 8 的得到的纹理边界结构信息图，该图能标记出大部分结构信息，基本达到纹理结构分析的要求。

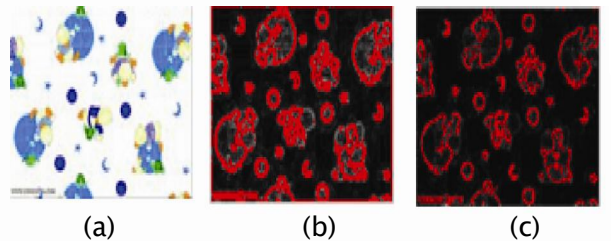


图 2 清晰型边界处理图

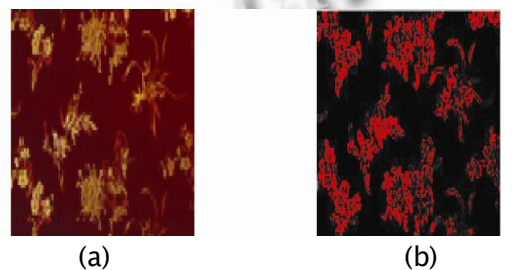


图 3 复合型边界处理图

3 结构相似的纹理合成方法

3.1 结构相似的判断标准

本文主要根据结构信息的几何特征作为结构相似的判断标准，通过对结构信息的有效提取，得到纹样中结构信息的几何特征，再对几何特征信息进行对比，来衡量织物纹理结构的差异性。为描述织物纹理结构的差异性，引进结构相似量度即公式(5)和结构不相似量度即公式(6)。

$$a = 2 * \sum_{i \in S} m_i / (C_1 + C_2) \quad (5)$$

$$b = (\sum_{j=1,2} L_j - 2 * \sum_{i \in S} m_i) / \sum_{j=1,2} C_j \quad (6)$$

其中，纹样区域大小分别为 C_1 和 C_2 ，其对应的边界结构曲线的长度分别为 L_1 和 L_2 ，且对应重叠的边界结构曲线的长度为 m_i ，那么它们对应不重叠的长度分别为 $C_1 - \sum_{i \in S} m_i$ 和 $C_2 - \sum_{i \in S} m_i$ ， S 表示边界结构曲线重叠区域长度的集合，结构相似度量 a 和结构不相似度量 b 。结构相似性度量越高，结构不相似度量越低，纹理之间的结构匹配程度也越高，合成的纹理就流畅。

3.2 最佳匹配块的分析

在纹理合成时，最佳匹配块的选取直接决定纹理合成的效果。本文在考虑颜色相似的基础上，结合纹理结构相似的特点，把最佳匹配块分为三类：完全不匹配织物纹理结构块，部分匹配织物纹理结构块，完全匹配织物纹理结构块。

3.2.1 完全不匹配织物纹理结构块

完全不匹配织物纹理结构块颜色特征较匹配而结构特征完全不匹配。用以往的纹理合成方法，只考虑颜色因素作为匹配准则，此类纹理块经常被选取。如图 4 纹理所示，红色矩形框中与紫色矩形框中的颜色特征匹配程度高，但是它们之间的结构特征不匹配。图 4(a)和图 4(b)分别对红色和紫色矩形框中结构特征曲线进行简易模拟。如果用红色矩形块中的纹理信息去替换紫色矩形框中的纹理信息，就很容易产生纹元的不连续性，严重影响视觉效果。

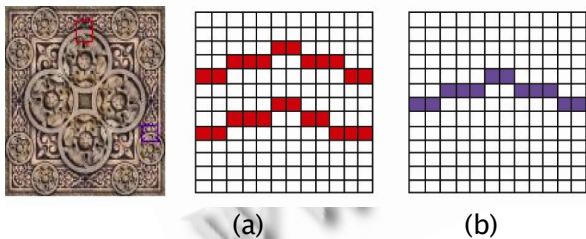


图 4 完全不匹配纹理块及结构图

3.2.2 部分匹配织物纹理结构块

部分匹配织物纹理结构块是指颜色特征匹配而结构特征部分匹配。如图 5 纹理所示，红色矩形框中与紫色矩形框中的颜色特征匹配程度高，但是它们之间的结构特征匹配程度较低，图 5(a)和图 5(b)分别对红色和紫色矩形框中结构特征曲线进行简易模拟，图 5(c)为两个纹理块结构特征完全匹配的像素点。如果

用红色矩形块中的纹理信息去替换紫色矩形框中的纹理信息，当匹配块较小时，结构的不连续性不明显，但是匹配块过大时，就容易发生纹元的错乱。

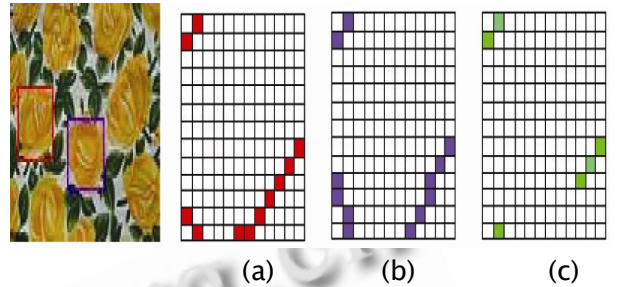


图 5 部分匹配纹理块及结构图

3.2.3 完全匹配织物纹理结构块

完全匹配织物纹理块是指纹理块之间的结构和颜色特征完全匹配。如图 6 纹理所示，红色矩形框中的纹理结构特征和颜色特征与紫色矩形框里的结构特征和颜色特征完全一样，图 6(a)和图 6(b)分别对红色和紫色矩形框中结构特征曲线进行简易模拟，每个格子表示纹理的一个像素点的边界结构信息。如果用红色矩形块中的结构信息去替换紫色矩形框中的纹理信息，不但颜色信息匹配，而且结构信息也匹配，因此通过该类结构块合成的纹理，匹配质量高，视觉效果好。

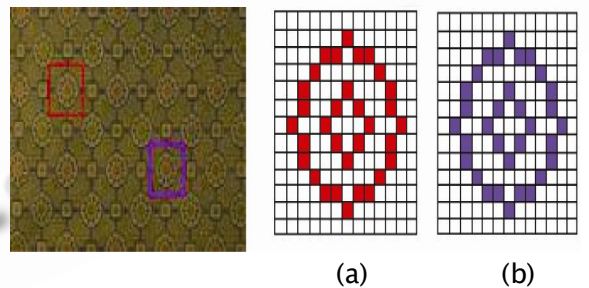


图 6 完全匹配纹理块及结构图

3.3 最优匹配块的选取

通过上述分析可知，完全匹配织物纹理结构块是最佳匹配块，但是在实际纹理合成过程中，较难找到完全匹配织物纹理结构块，通常用部分匹配织物纹理结构块和完全不匹配织物纹理结构块作为最优匹配块，因而导致纹元的走样。为了更好的提高纹理的合成质量，采用结构相似的算法，能极大的减少纹元的走样，从而达到理想的效果。最优匹配块具体选取如图 7：图中红色标记的边框为结构信息点，边框中的数值为该像素点的像素值，通过用公式(5)和公式(6)计算，得到图 7(a)与

图 7(b)和图 7(c)的结构相似度分别为 0.12 和 0.08, 结构不相似度分别为 0.02 和 0.08, 通过公式(7)计算, 它们的颜色相似度量分别为 1110 和 1020, 但通过公式(8)计算, 其总相似度量分别为 1998 和 2040, 如果只考虑颜色相似度量作为最优匹配块选取的标准, 则选择图 7(c)作为图 7(a)最优匹配块, 但还同时加入结构相似度量作为最优匹配块的衡量标准, 则选择图 7(b)作为最优匹配块。综上所述, 通过对像素点颜色的差异和结构块相似程度的比较, 图 7(b)比图 7(c)更加较好的匹配图 7(a), 选择图 7(b)作为最佳匹配块, 能更好的保证纹理之间的连续性。

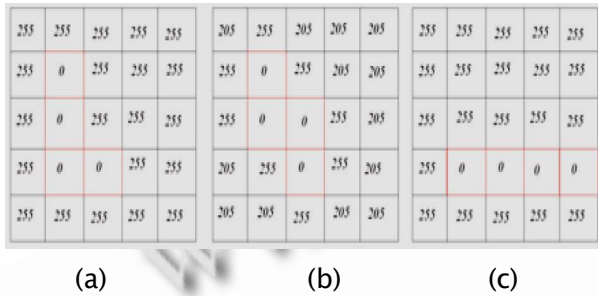


图 7 最优匹配块选取对比图

3.4 结构相似性判别算法流程

本文在考虑两个匹配块的颜色相似量的基础上, 引进结构相似度量来共同决定最佳匹配块的选取, 提高了纹理合成的质量。其主要步骤如下:

- ① 把样图输入到计算机中。
- ② 对纹理样图进行灰度处理。
- ③ 采用人工交互的手段, 利用边界闭合算法, 建立合适的边界结构信息图。
- ④ 利用公式(7)和公式(8)分别计算出匹配块之间的颜色相似量度和结构相似度量, 最后利用公式(9)整合出总相似度量, 并根据总相似度量选择出最佳匹配块复制到待合成区域。
- ⑤ 输出纹理合成图。

$$color = \sum_{p \in N_1, q \in N_2} \sqrt{(R(p) - R(q))^2 + (G(p) - G(q))^2 + (B(p) - B(q))^2} \quad (7)$$

$$struct = a * color - b * color \quad (8)$$

$$cost = 2 * color - struct \quad (9)$$

其中, $color$ 为颜色相似度量, 函数 $R()$, $G()$, $B()$ 分别表示纹理图像的红、绿、蓝三原色, N_1 , N_2 分别表示两个形状的相同的 L 邻域, p , q 表示对应的像素

点, $struct$ 为结构相似度量, a 为结构相似度, b 为结构不相似度, $cost$ 为总相似度量。

4 应用实例

通过对 Liang 等人的方法进行对比^[6], 结构相似的纹理合成方法对结构性纹理的合成效果较好, 主要是由于 Liang 的方法并没有考虑到结构相似度量, 其合成结果丧失了原纹样的边界特征, 而基于结构相似性判别的方法能很好的保持边界特征。用 PC 机(P4&256M)分别对模糊型边界纹理图(图 8), 清晰型边界纹理图(图 9)和复合型边界纹理图(图 10)进行纹理合成, 其中(a)图是采用 Liang 等人的方法的纹理合成图, 中间的矩形框是纹理中不连续的部分, (b)图采用的是结构相似性判别方法的纹理合成图。实验表明, 结构相似性判断方法对保持织物图案的结构完整性和视觉上的连续性有很好的效果, 特别是清晰型边界结构和模糊型边界结构, 但是对复合型边界结构处理效果不是很明显, 主要是由于复合型边界纹理的边界不够明显, 且颜色跳跃性也很弱, 很难获得满意的结构信息图。

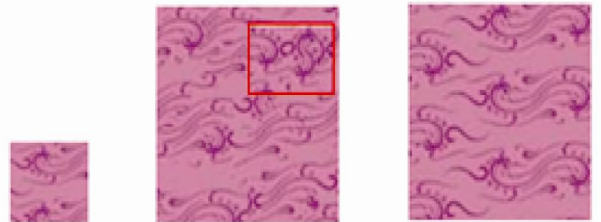


图 8 模糊型边界纹理合成图

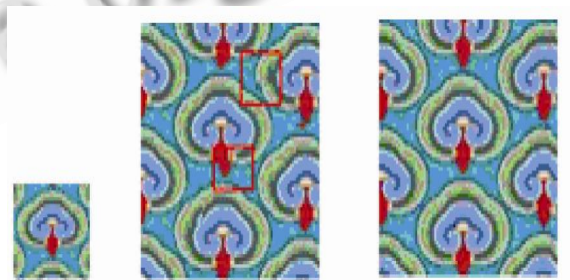


图 9 清晰型边界纹理合成图

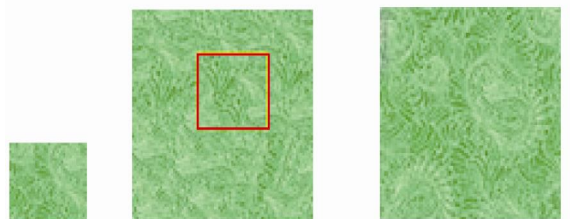


图 10 复合型边界纹理合成图

5 结论

相对于只考虑颜色相似量度的纹理合成方法,结构相似判别方法确实能提高纹理合成的质量,并且能在图案设计时,减少噪声对图案设计的影响,达到令人满意的效果。主要优点表现在以下几个方面:

①在考虑颜色相似性的前提下,并加进了结构相似性的权重。

②构建纹理结构信息图在预处理中完成,不占用纹理合成的时间,能达到适时合成纺织品的图案设计。

③能适合大部分结构型纹理。

参考文献

1 Catmull E. A Subdivision Algorithm for Computer Display of Curved Surfaces [PhD Thesis]. Computer Science Department: University of Utah, Salt Lake City, Utah, 1974.

2 Perlin K. An Image Synthesizer, Computer Graphics, 19(3)(SIGGRAPH 85), 1985:287 – 296.

3 Efros A, Leung T. Texture synthesis by nonparametric sampling International Conference on Computer Vision. Greece: IEEE Press, 1999:1033 – 1038.

4 Alexei A. Efros, William T. Freeman. Image Quilting for Texture Synthesis and Transfer. Proceedings of SIGGRAPH, 2001:341 – 346.

5 周赓, 吴文正. 数码提花织物的组合全显色结构设计. 纺织学报, 2007, 28(6):59 – 62.

6 Liang L, Liu C, Xu Y. et al. Real-time texture synthesis by patch-based sampling. ACM Trans. Graphics, 2001, 20(3):127 – 150.