

织物纹理的计算机生成技术^{*}

徐迎庆¹ 刘慎权² 齐东旭³

¹(中国科学院软件研究所 北京 100080)

²(中国科学院计算技术研究所 CAD 开放实验室 北京 100080)

³(北方工业大学 CAD 研究中心 北京 100041)

摘要 纹理是真实感图象最重要的特征之一,而织物纹理是决定服装风格特征的一个重要因素.由于织物纹理的多样性和复杂性,在计算机图形学和服装CAD技术的研究中,如何用计算机生成漂亮、逼真的服装面料以及织物纹理就成为一个非常有趣且富有挑战性的问题.本文基于Arnold变换和生命游戏算法提出了一种在计算机上生成多种复杂织物纹理的新方法.实验表明,利用该方法生成的织物纹理既十分漂亮又比较逼真.

关键词 织物纹理,计算机图形学,图象处理,Arnold变换,生命游戏算法.

中图法分类号 TP391

服装是现代人所不可缺少的生活用品,服装的多样化和个性化为人们的生活增添了无穷的乐趣.除了服装的式样之外,服装面料上的织物纹理变化也是形成服装的风格特征一个主要因素.在计算机图形学的研究中,如何用计算机生成漂亮、逼真的服装面料以及织物纹理是一个非常意义的研究内容,因为它对于计算机真实感模拟、人体动画、服装CAD/CAM技术等都有着密切的关系.比如在人体动画的研究和制作中,在许多情况下给虚拟的演员穿上漂亮的服装是必需的.

在以往的研究中,人们在织物和服装的几何造型及其动态模拟等方面发表了一系列研究论文.^[1~6]模拟的方法多种多样,既有从物理特性上入手的,也有从几何特征上出发的,但是从计算机图形学的角度来看,更多的是着重于视觉效果.本文对织物纹理的模拟也是追求逼真的视觉效果.应该指出,就我们对IEEE,ACM,EUROGRAPHICS以及国内有关的学术刊物的检索来看,尽管在关于用计算机生成自然纹理方面,人们曾提出了一些行之有效的方法^[7~16],但是迄今为止,相对于纹理绘制(Texture Rendering)方面的研究来说,有关纹理生成(Generation of Textures)方面的研究论文要少得多^[15],而关于织物纹理生成方面的文献尚未见到.目前在绘制真实感图形时所使用的纹理图象基本上是来自扫描仪输入的真实照片,显然这是不能满足实际需要的.我们要模拟的真实世界是千变万化的,而人们手头现有的纹理资料毕竟十分有限.

本文基于Arnold变换和生命游戏算法提出了一种生成纤维织物纹理的新方法.利用这个方法,我们可以在计算机上快速、方便地生成大量不同的纤维织物纹理.

1 织物纹理的生成

1.1 Arnold变换

Arnold变换是Arnold V. J. 为了研究遍历理论而提出的一种非线性变换^[17],是一个迭代计算.假设我们的画面是一个单位正方形, (x, y) 为该正方形上的点,将 (x, y) 变换到同一个正方形中的另外一点 (x', y') 的变换

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \pmod{1} \quad (1)$$

其中 $\pmod{1}$ 表示模 1 运算,式(1)就是Arnold变换.

* 本文研究得到国家自然科学基金资助.作者徐迎庆,1959年生,博士,副研究员,主要研究领域为计算机图形学,计算机动画,图象处理.刘慎权,1930年生,博士,研究员,博士导师,主要研究领域为计算机图形学,科学计算可视化,计算机动画.齐东旭,1940年生,教授,博士导师,主要研究领域为计算机图形学,计算数学,图象处理.

本文通讯联系人,徐迎庆,北京 100080,中国科学院软件研究所

本文 1997-04-10 收到原稿,1997-06-15 收到修改稿

对于 N 阶图象方阵来说,Arnold 变换的计算是按照(Mode N)进行的,于是式(1)改写成如下的形式

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \pmod{N}, x, y \in \{0, 1, 2, \dots, N-1\} \tag{2}$$

我们根据式(2)给出迭代公式

$$P_i^{n+1} = AP_i^n \pmod{N}, n=0, 1, 2, \dots \tag{3}$$

其中

$$P_i^n = (i, j)^T, i, j \in \{0, 1, 2, \dots, N-1\} \tag{4}$$

式(3)(4)中 P 的上标代表迭代次数. 式(2)给出了点的位置变化,当计算出新点 P_i^{n+1} 之后,立即将原来 P_i^n 处的信息(灰度、颜色等)移植过来. 在遍历了原来画面上所有的点之后,下一个新的画面便产生了,不断迭代下去之后,将会回到原始画面. 也就是说迭代过程具有周期性. 在细节上,我们通过对像素点在变换前后的位置变化情况分析,可以知道 Arnold 变换把水平方向的像素点变换到斜线方向上. 在图 1 中,我们以一个 400×400 的图象为例($N=400$),为了表示方便,我们把不同水平线上的一部分像素点用不同的符号表示出来. 从图 2 中可以看出,经过 Arnold 变换之后这部分像素点位置的变化. 在这样的变换之下,一幅图象经过多次迭代之后就形成了整体视觉效果上非常有规律的纹状图案,这恰是织物纹理的重要视觉特征之一,我们对织物纹理的模拟就是基于这种原理进行的.

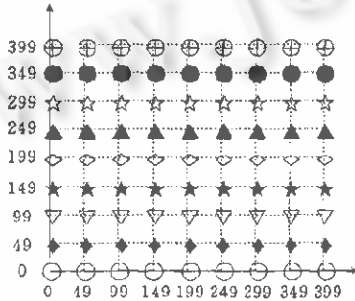


图1 变换之前部分像素点的位置

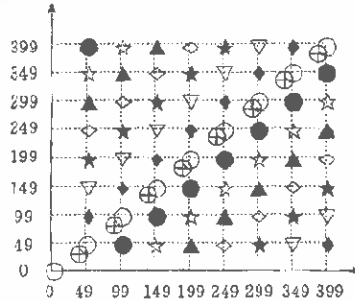


图2 变换之后部分像素点的位置

1.2 生命游戏

1970 年前后,英国数学家 John Conway 和他的学生经过大量的实验,提出了生命游戏及其规则.^[16] 其一般规则如下:假设平面被分割成若干个正方形网格,把每一个被网格围成的小方块视作生命细胞,如果在小方块上涂黑色,则认为这个细胞是活的,如果小方块涂上白色,则认为这个细胞是死的. 在内部方块的周围都有 8 个相邻的细胞,这些相邻细胞各自有“死”、“活”状态. 周围细胞“生、死”的数量为一个阈值,它们对包围在其中的细胞的死活产生着影响. 对于给定的初始状态,规定被包围的细胞的死活(黑或白色)遵循一定的规则,比如:如果一个细胞的周围恰有 M 个(如 $M=3$)细胞是活的,那么该细胞也可以存活,如果一个细胞的周围有 K 个(如 $K=6$)是死的,则该细胞也死掉,如果一个细胞周围有 N 个(如 $N=7$)细胞是活的,那么假设该细胞原来是活的,该细胞将变成死的,如果该细胞原来是死的,那么它保持死的状态. 上述规则反映了如下的背景:如果一个细胞的周围的死体太多的话,说明环境不适应生存,而且由于活体得不到足够的支持和帮助,它也将死亡;如果其周围的活体太多,由于营养资源不足以维持这样多的活体,所以该细胞本身反而会死掉,如果周围环境恰到好处,则本来垂死的细胞可以被激活,生存下来,而原本活着的细胞会活的更好.

当我们把生命游戏运用到图象矩阵上的时候,便形成一类特殊的图象矩阵变换. 比如,我们把像素看作是一个细胞,令像素的某种参数代表该细胞的生存状态,这样,周围像素的参数值就直接影响了该细胞本身参数的变化. 不断重复这个过程,对图象进行迭代. 在这种迭代之下,一个像素点总是与其周围像素进行匹配,直到图象整体上的变化逐步趋于稳定. 后面我们将具体介绍如何利用这种方法来生成一类特殊的织物纹理.

1.3 织物纹理的生成过程

为此,首先需要构造一个“源图象”. 所谓“源图象”就是这样一幅图象,我们通过对它进行图象变换,来得到所需要的纹理. 源图象的构造是非常简单的,但是它需要满足一定的约束条件. 假设图象矩阵为 I , 需要生成的纹理图象矩阵为 I' . 对于所要生成的纹理 I' 来说,假定其主色调为 $S_1, S_2, \dots, S_k (k=1, 2, \dots, L)$. 那么我们设计源图象 I 的基本要求就是其主色调与 I' 一致.

源图象可以通过两种方式得到。

第1种方式就是直接在计算机上生成。在这种情况下,我们根据要求生成的纹理的颜色分布情况,设计出满足要求的纹理。例如:图4所示的单面绒布纹理和图5所示的斜纹卡其布纹理,显然,其主色调为黑白灰,且其色调分布为 $P(\text{黑})+P(\text{灰})$ 约为70%, $P(\text{白})$ 小于30%。根据我们需要的纹理就可以设计出一个源图象(图3),其色调也是以黑白为主,并且黑色调约占整个画面的75%,而白色调约占画面的25%。在迭代过程中,黑白两色相混(象素位置重新排列),使得在视觉效果上出现灰色调。

由于Arnold变换的特性,在迭代到不同的步骤时所产生的纹理是完全不同的,因此,同一个源图象可以用来产生不同的织物纹理,如图4和图5均是由图3经过迭代得到的,其中图4迭代了60次,图5迭代了31次。

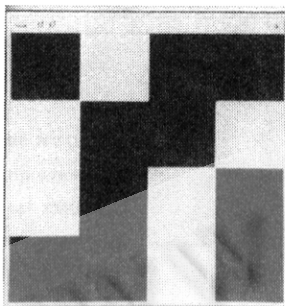


图3 源图象之一(程序生成)

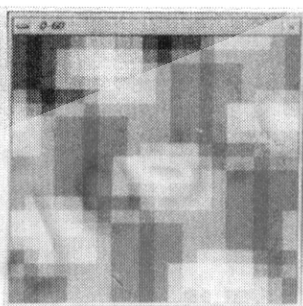


图4 单面绒布



图5 斜纹卡其布

生成源图象的另一种方式就是利用现有的(从扫描仪输入或者从录像带上抓取的)图象资料。所谓利用现有的图象资料是指利用那些看上去并不是我们所需要的纹理,但是其主色调及其分布能够基本满足我们要求的图象。比如我们需要生成化纤仿麻织布的纹理,如图7所示,于是,我们选择一个有着类似色调的图片作为源图象(如图6所示)。经过80次迭代之后生成了我们所期望的效果。



图6 源图象之二(扫描输入)

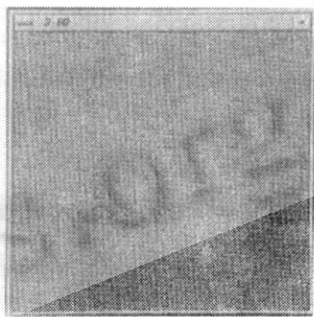


图7 仿麻织布

前面我们说过,在利用Arnold变换生成纹理的时候,所得到的都是在视觉上纹理比较规则的织物。对于那些看上去纹理不太规则的织物,如大衣呢、粗纺花呢、火母司本等,这样生成的效果就不能满足要求。因此,必须对很规则的纹理进行扰动,使其在保证原来图案基本不变的情况下,产生不规则的纹理效果。如果在RGB空间上直接对像素的 R, G, B 分量进行扰动,原来的图案将会被破坏。因为对于彩色图象来说,随着组成整体图案的每一个像素的 R, G, B 值的改变,其整体图案也相应地被破坏,所得到的图案将面目全非。为了保证扰动前后整体图案的基本一致,我们考虑,在HLS空间只对像素的 L 分量的值,即亮度值进行扰动。这样做的好处是由于亮度值的变化,除了影响图象的明暗之外,并不改变图象的其它内容,因此,既可以产生不规则的纹理效果,又保证了象素之间在视觉效果上的相关性。在扰动时,我们采用生命游戏算法,规定“生存”为一个象素随着周围的象素的亮度变化而变亮,“死亡”为一个象素随着周围象素的亮度变化而变暗,并指定“生、死”阈值(比如 $K=3, N=6$)。设一个象素的亮度值为 L ,其周围象素亮度值大于 L 的象素的平均值为 L_{bright} ,小于 L 的象素平均值为 L_{dim} ,在周围象素的影响下,原象素的亮度值变为 L' ,则当象

素增亮时,

$$L' = L + (L_{\text{bright}} - L) \cdot \text{Random}$$

当象素减暗时,

$$L' = L_{\text{dim}} + (L - L_{\text{dim}}) \cdot \text{Random}$$

其中 *Random* 是区间[0,1]上的随机数.

图 8 和图 9 是用上述方法生成的两组大衣呢的纹理.



图 8 精纺粗呢织物之一

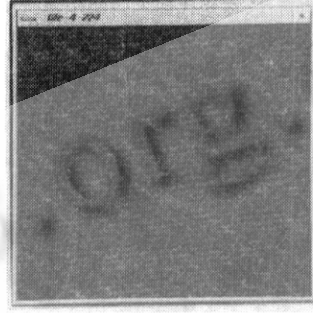


图 9 精纺粗呢织物之二

2 结论和进一步的讨论

本文介绍了生成织物纹理的方法,并给出了具体的实例,从中可以看出本文的方法简便、实用而且纹理效果逼真.本文方法的另一个优点是,可以按照需要来生成自然纹理,换言之,可以控制纹理的生成.而且,可以根据要生成的纹理方便地找到原图象.这是其他一些方法做不到的.由于 Arnold 变换和生命游戏的计算简单,所以,在迭代生成纹理时,运算的速度是非常快的.本文中的例子均为 400×400 的图象,根据 Arnold 变换的另一个性质,当图象的尺寸不同时,其迭代周期是不同的,也就是说,如果我们使用更大分辨率的图象,将会得到更多不同的纹理.

参考文献

- 1 Breen D E. Computer graphics in textiles and apparel modeling. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1996, (9):26~27
- 2 Nisselson J *et al.* Computer graphics in fashion. *Computer Graphics*, 1987,21(4):333~334
- 3 Hing N Ng, Grimsdale R L. Computer graphics techniques for modeling cloth. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1996, (9):28~41
- 4 Volino P *et al.* An evolving system for simulating clothes on virtual actors. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1996, (9):42~51
- 5 Terzopoulos D *et al.* Elastically deformable models. *Computer Graphics*, 1987,21(4):205~214
- 6 Yang Y, Thalmann N M. An improved algorithm for collision detection in cloth animation with human body. In: *Proceedings of Pacific Graphics*, Singapore, 1993. 237~251
- 7 Blinn J F, Newell M E. Texture and reflection in computer generated images. *Communications of the ACM*, 1976,19:542~546
- 8 Fu K S, Lu S Y. Computer generation of texture using a syntactic approach. *Computer Graphics*, 1978,12(8):147~152
- 9 Schacter B J, Ahuja N. Random pattern generation processes. *Computer Graphics and Image Processing*, 1979,10:95~114
- 10 Schacter B J. Long crested wave models. *Computer Graphics and Image Processing*, 1980,12:187~201
- 11 Fournier A, Fussell D, Carpenter L. Computer rendering of stochastic models. *Communications of the ACM*, 1982,26(6):371~384
- 12 Haruyama S, Barsky B A. Using stochastic modeling for texture generation. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 1984,4(3):7~19
- 13 Hassner M, Sklansky J. The use of Markov random fields as model of texture. *Computer Graphics and Image Processing*, 1980,12:357~370
- 14 Chiba N *et al.* Two-dimensional visual simulation of flames, smoke and the spread of fire. *The Journal of Visualization and Computer Animation*, 1994,5:37~53
- 15 Witkin A, Kass M. Reaction-diffusion textures. *Computer Graphics*, 1991,25(4):299~308

- 16 Dai Wen-Kai *et al.* Synthesizing feather textures in galliformes. *Computer and Graphics*, 1995, 14(3):c407~c420
- 17 齐东旭. 分形及其计算机生成. 北京: 科学出版社, 1994. 143~145
(Qi Dong-xu. *Fractal and It's Application of Computer Graphics*. Beijing: Science Press, 1994. 143~145)
- 18 Berlekmp E, Conway J, Guy R. *Winning ways for your mathematical plays*. London: Academic Press, 1982

Generation of Fabric Textures

XU Ying-qing¹ LIU Shen-quan² QI Dong-xu³

¹(*Institute of Software The Chinese Academy of Sciences Beijing 100080*)

²(*CAD Laboratory Institute of Computing Technology The Chinese Academy of Sciences Beijing 100080*)

³(*CAD Center North China University of Technology Beijing 100041*)

Abstract The texture is one of the most important features of reality rendered pictures. As such the fabric texture is one of the important factors to fix the clothing feature. Since the multiformity and complexity, how to generate beautiful and real materials and fabric textures in computer is a very interesting and challenging problem of the research on computer graphics and clothing CAD. In this paper, the authors present a new method of generating various fabric textures based on Arnold transformation and lift-game. Using this method, the beautiful and real fabric textures can be generated.

Key words Fabric textures, computer graphics, image processing, Arnold transformation, life game.