

基于网格模型的面料二维虚拟场景模拟

马凌洲 许端清 陈 纯

(浙江大学计算机科学与技术学院软件研究所, 杭州 310027)

摘要 提出并实现了一种在二维场景中模拟显示面料真实感效果的方法. 为实现面料在特定场景中的效果模拟, 主要需解决的是场景中面料伪曲面网格模型的建立, 以及从面料图案到伪曲面的纹理映射. 面料伪曲面网格模型, 是通过在二维场景中建立曲边四边形, 然后使用双线性插值方法对它进行网格划分来建立的; 而在进行面料纹理映射时, 是采用基于三角形网格的映射方法, 同时还要考虑面料表面的明暗变化效果. 运用这种方法建立的面料场景效果模拟系统, 可以使面料设计者能够迅速地检查设计效果, 用户能够方便地按照自己喜好来选购面料, 具有良好的实用性能.

关键词 计算机辅助设计(520·6050) 纺织 CAD 面料场景模拟 网格划分 双线性插值 纹理映射

中图分类号: TP391.7 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2003)08-0964-06

Cloth Simulated in 2D Virtual Environment Based on Mesh Model

MA Ling-zhou, XU Duan-qing, CHEN Chun

(College of Computer Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract In this paper, we present a method to simulate the realistic effect of the cloth in the 2D virtual environment. In order to simulate the cloth that is in certain environment, we mainly need to solve the two aspects of the problem. Firstly, we need to establish the model of pseudo-curving surface meshes. Secondly, we need to map the texture of the cloth to the pseudo-curving surface. To model the cloth's pseudo-curving surface meshes, we firstly draw the outline of the curvi-edge quadrangle, and then generate the meshes on the pseudo-curving surface, with the method of bilinear interpolation. To complete the cloth texture mapping, we introduce the algorithm based on the triangle grid. Shading processing is also considered when we want to exactly simulate the cloth surface. With this method, we develop the cloth environmental simulation system. Designers can immediately check the production effect when they are designing the fabric. The customers can easily select their favorite cloth when shopping. So the system based on this method is very useful and valuable.

Keywords Computer aided design, Textile CAD, Cloth environmental simulation, Mesh generation, Bilinear interpolation, Texture mapping

0 引言

在传统的纺织 CAD 系统中, 面料的设计工作与面料的应用是分开的, 设计师的设计思想只有在试生产出样品之后, 将它布置在特定场景中, 才能看到面料在场景中的应用效果. 对面料销售商来说, 面料的各种场景效果图是他们提供给顾客选购的必要资料, 但是通过拍摄得到的效果图毕竟是有限的, 而且不能随心所欲地更换不同的场景. 如果在 CAD 系统中增

加面料的虚拟场景模拟功能, 将各种面料和场景输入计算机, 通过计算处理, 生成面料在场景中的真实感效果, 这样既有利于设计者的设计, 也有利于面料销售商的销售, 而对消费者来说, 他们可以提供自己真实场景(如卧室等)的照片, 通过替换场景中的不同面料来实现家居的虚拟装潢. 这里所指的面料包括服装面料、装饰布、地毯、窗帘、床单等等, 场景也可以有许多, 如着装的模特、居室、包装等等.

一般的场景模拟方法, 都是先对虚拟场景进行三维建模, 根据面料在三维空间的形态, 建立曲面模

型,然后结合光照明模型,运用真实感图形算法,将面料纹理图象映射到空间曲面上,生成最终的面料场景效果图^[1,2]。这种方法能够很好地结合光照条件计算面料表面的明暗效果,并且可以旋转场景,从不同的角度观察面料的展示效果。但是对空间场景的三维建模是一个比较复杂的过程,这就限制了这种方法的易用性。

所谓场景,就是一幅普通的图象,可以通过数码相机,或是扫描仪,输入到计算机中,好比是一个有待进行装饰的居室图,等等。因为获取二维场景图象的来源很广,而且在二维场景图象中,建模也很简单,最终面料展示的效果模拟也非常逼真,所以基于二维场景图象的面料展示方法与三维场景模拟相比,有更大的实用方便性。

1 原理

面料的二维虚拟场景模拟方法的原理结构图如图 1 所示,它从二维原始场景开始,建立场景中面料的伪曲面网格模型,最后生成面料的场景效果图。

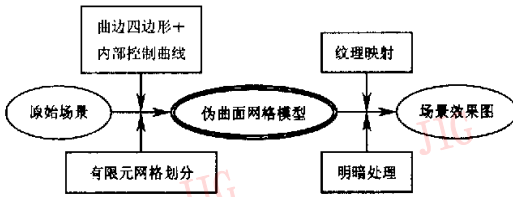


图 1 原理结构图

一块完整的面料,可以把它理解为四边形的形状,而在场景图象中,由于面料的变形与褶皱等原因,原先四边形的 4 条边都变成了曲线形状,沿着面料的边界,可以勾勒出面料 4 条边的曲线轮廓,它们相交后形成了曲边四边形,如图 2(a)所示。曲边四边形所表示的面料伪曲面,其 4 条边界曲线与面料四边形的 4 条边相对应。

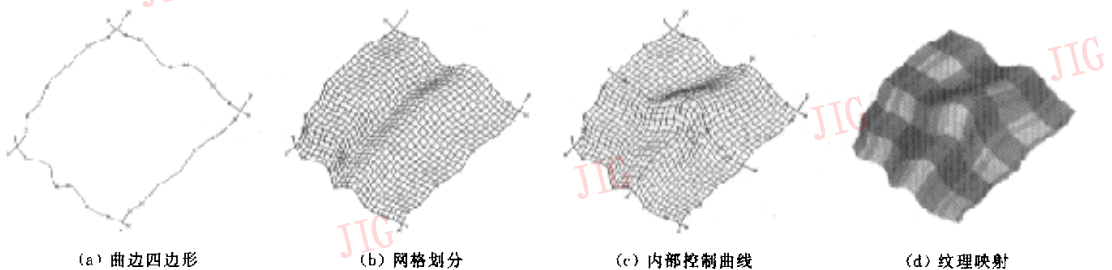


图 2

曲边四边形只是勾勒出面料边界线的位置与变形走向,它还不能表现出整块面料在场景中的形态,还必须对面料的内部作进一步描述。由于面料是由经纬线交织而成的,因此可以用相隔一定距离的经线与纬线相交而形成的网格,来表示面料的伪曲面。可沿着经线纬线方向,对曲边四边形进行有限元网格划分,各网格点的连线所表示的经纬线的弯曲走势,体现了面料内部的变形褶皱情况,如图 2(b)所示。

对曲边四边形的有限元网格划分,是根据 4 条边界曲线来计算的,为了更有效地控制面料内部的变形褶皱情况,引入内部控制曲线。内部控制曲线是沿着面料内部的某条经线或纬线的走向来确定的。这样,在对曲边四边形进行有限元网格划分时,要充分考虑内部控制曲线的走向,使得网格划分后的网格点阵列中某一行或者某一列网格点首尾相连后,刚好形成这条内部控制曲线,如图 2(c)所示。

以曲边四边形和内部控制曲线为基础,通过有限元网格划分,就建立了面料的伪曲面网格模型。以平面网格表示的一张伪曲面,仅仅表示了面料在场景中的变形褶皱形态,要展示面料的视觉效果,须结合面料表面的纹理图案。以面料的伪曲面网格模型为基础,通过纹理映射,将面料表面纹理映射到伪曲面网格模型上。

面料表面上明暗效果的变化,是体现面料真实感的重要因素。在通过纹理映射方法确定面料表面上每一点的颜色时,要结合该点位置的亮度。曲面表面的明暗效果是与场景中的光照条件密切相关的,但是由于采用的模型是二维平面上的伪曲面网格,不存在三维空间数据,因此无法根据光照明模型进行亮度计算。为解决这个问题,一种方法是借用原始场景中相应位置上原有的亮度值,作为当前点的亮度;另一种方法是采用网格面积加权法,根据当前点所在单元网格的面积来计算面料表面的光亮度,这种方法在假设光线方向与人的视线方向相同的情况下,才能适用。纹理映射与明暗处理的结果如图 2(d)所示。

2 面料的伪曲面网格模型

在建立面料的伪曲面网格模型时,以原始场景为背景,先勾勒出面料的曲边四边形.指定曲线上的若干个型值点,插值出边界曲线,曲线采用累加弦长参数样条曲线^[3].

2.1 累加弦长参数样条曲线

给定一组型值点 $P_i(x_i, y_i), i=0, 1, \dots, n$, 构造两个关于参数 u 的插值三次样条函数

$$x = x(u), y = y(u)$$

它们分别插值于点集 $(u_i, x_i), (u_i, y_i), i=0, 1, \dots, n$, 然后将两者合并,形成三次参数样条曲线

$$P(u) = [x(u) \quad y(u)].$$

关于参数 u 的选取,因为要对曲线围成的曲边四边形进行网格划分,那就要对曲线进行分割,所以为了方便地计算曲线的弧长,累加弧长是参数 u 最直观的选择.但是,在得到曲线之前,却无法获得弧长的具体数值,所以,用累加弦长来近似弧长,将其作为参数构造样条曲线,称为累加弦长参数样条曲线,简称为参数样条曲线.这样,曲线上某一点的参数 u ,就约等于从曲线起始点到该点的曲线段弧长.

采用累加弦长参数样条曲线,能够方便地计算曲线上任意两点间的曲线段弧长.比如,曲线上 $P(u_1)$ 和 $P(u_2)$ 两点之间的弧长为 $|u_2 - u_1|$.

另外,要以弧长间隔为 d 的间隔点分割曲线,则所得到的间隔点是

$$\{P(u_0), P(u_0+d), P(u_0+2d), \dots\}.$$

2.2 双线性插值法有限元网格划分

前面说过,为了描述面料内部的变形褶皱情况,通过有限元网格划分来实现.有限单元法的基本概念是将一个形状复杂的连续体的求解区域分解为有限个形状简单的子区域(单元),即将一个连续体简化为由有限个单元组成的等效组合体;通过将连续体离散化,把求解连续体的问题简化为求解有限个单元结点的问题.

运用有限元网格生成技术来划分平面曲边四边形.平面区域的有限元网格划分方法有许多,如拓扑分解法、结点连元法、网格模板法、映射法、几何分解法^[4,5],等等.Haber 提出了一种双线性插值方法^[6].

如图 3(a)所示,有任意参数曲线 $\varphi_1(u), \varphi_2(u), \xi_1(v), \xi_2(v)$,其中 $0 \leq u, v \leq 1$,交点

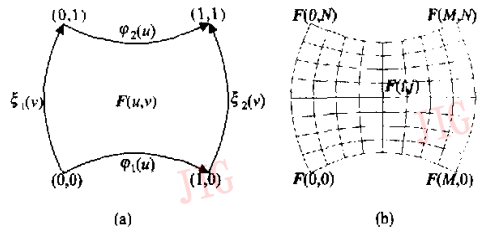


图 3 双线性插值网格划分

$$\begin{aligned} F(0,0) &= \varphi_1(0) = \xi_1(0), \\ F(0,1) &= \varphi_2(0) = \xi_1(1), \\ F(1,0) &= \varphi_1(1) = \xi_2(0), \\ F(1,1) &= \varphi_2(1) = \xi_2(1) \end{aligned}$$

由它们围成平面曲边四边形.以曲线的参数 (u, v) 为坐标,建立二维空间 $F(u, v)$.对于区域内部任一点 $F(u_0, v_0)$,可以通过对 $\varphi_1(u_0), \varphi_2(u_0), \xi_1(v_0), \xi_2(v_0)$ 采用以下的双线性插值公式来计算:

$$\begin{aligned} F(u_0, v_0) &= (1-v_0)\varphi_1(u_0) + v_0\varphi_2(u_0) + \\ & (1-u_0)\xi_1(v_0) + u_0\xi_2(v_0) - \\ & (1-u_0)(1-v_0)F(0,0) - u_0v_0F(1,1) - \\ & (1-u_0)v_0F(0,1) - u_0(1-v_0)F(1,0) \end{aligned} \quad (1)$$

根据双线性插值公式(1),在对面料的曲边四边形进行网格划分时,要先对 4 条边界曲线进行均匀分割,再对这些分割点进行双线性插值.曲边四边形的边界曲线是以累加弦长参数样条曲线来表示,根据其参数即弧长的原理,可以很容易地分割曲线.假设要将曲边四边形划分为 $M \times N$ 网格,在其中两条边界曲线上,将曲线段分割成 M 段,即 $(M+1)$ 个分割点,它们分别是:

$$F(i,0) \text{ 与 } F(i,N), \text{ 其中 } i=0, 1, 2, \dots, M$$

同样,在另外两条边界曲线上,分割出 $(N+1)$ 个分割点,它们分别是:

$$F(0,j) \text{ 与 } F(M,j), \text{ 其中 } j=0, 1, 2, \dots, N$$

有了这 $(M+N) \times 2$ 个边界点,根据双线性插值公式,可以计算出曲边四边形内部的任意一个网格点 $F(i, j)$.

$$\begin{aligned} F(i, j) &= \left(1 - \frac{j}{N}\right) F(i, 0) + \frac{j}{N} F(i, N) + \\ & \left(1 - \frac{i}{M}\right) F(0, j) + \frac{i}{M} F(M, j) - \\ & \left(1 - \frac{i}{M}\right) \left(1 - \frac{j}{N}\right) F(0, 0) - \frac{i}{M} \frac{j}{N} F(M, N) - \\ & \left(1 - \frac{i}{M}\right) \frac{j}{N} F(0, N) - \frac{i}{M} \left(1 - \frac{j}{N}\right) F(M, 0) \end{aligned}$$

$$(0 \leq i \leq M, 0 \leq j \leq N) \quad (2)$$

$F(i, j), F(i+1, j)$ 连线 $(0 \leq i < M, 0 \leq j \leq N)$, 形成伪曲面上纬线方向的网格线;

$F(i, j), F(i, j+1)$ 连线 $(0 \leq i \leq M, 0 \leq j < N)$, 形成伪曲面上经线方向的网格线, 如图 3(b) 所示。

2.3 内部控制曲线的引入

引入内部控制曲线, 用以控制伪曲面内部的褶皱形态。内部控制曲线也是参数样条曲线, 位于伪曲面内部的控制曲线, 与曲边四边形的四边相交, 将面料的曲边四边形划分为若干部分, 每个部分分别都是一个小曲边四边形。

对每一个小曲边四边形, 应用 2.2 节中的方法, 对它们分别进行网格划分, 然后共同形成整个面料的伪曲面网格模型。

3 面料纹理映射

根据伪曲面网格划分时的单元网格大小, 将面料纹理图案也进行划分, 如图 4 所示。纹理图案上的单元正四边形与面料伪曲面上的单元网格相对应, 图 4(a) 中阴影部分的单元正四边形与图 4(b) 中阴影部分的单元网格相对应。如何实现从正四边形到任意四边形的映射, 在文献[7]中已经有了描述, 为建立映射关系式, 它需要解一个二元二次方程组。这里采用基于三角形网格的纹理映射, 只需要解一个二元一次方程组, 所以要简单很多。

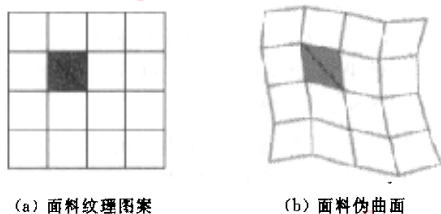


图 4 面料纹理图案划分

3.1 基于三角形网格的纹理映射

基于三角形网格的纹理映射的基本思想是, 将每个四边形按对角线划分成两个三角形, 分别以每个三角形为单元, 与纹理图案建立映射关系。如图 5 所示, 单位正方形 $A'B'C'D'$, 与四边形网格 $ABCD$ 相对应, 为了实现它们之间的对应, 分别考虑两个三角形 $\triangle ABD, \triangle CBD$ 。

在 $\triangle ABD$ 中的任意一点 P , 求它对应应在 $\triangle A'B'D'$ 中的对应点 $P'(u, v)$, 因为 $A'B'C'D'$ 是

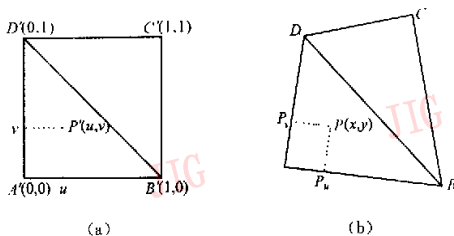


图 5

单位正方形, 所以, $0 \leq u, v \leq 1$, 且有 $u+v \leq 1$ 。

过 P 点作 AD 的平行线, 交 AB 于点 P_u , 过 P 点作 AB 的平行线, 交 AD 于点 P_v , 根据映射关系, 有

$$u = \frac{|AP_u|}{|AB|}, v = \frac{|AP_v|}{|AD|}$$

于是有

$$(P_u - A) + (P_v - A) = P - A \text{ 或} \\ (B - A)u + (D - A)v = P - A \quad (3)$$

因为 P, A, B, D 都有 x, y 两个分量, 所以, 它实际上是一个关于 u, v 的二元一次方程组, 能非常容易地解出 (u, v) 的值。

同理, 如果 P 点位于 $\triangle CBD$ 中, 按照同样的方法, 解得相应的 $P'(u, v)$ 点。

计算出单位正方形中的 $P'(u, v)$ 之后, 就可以方便地得出其在纹理图案中的相应位置。

3.2 面料表面的明暗效果处理

二维场景中面料表面的光亮度值, 采用以下两种方法来近似地计算。

(1) 复制原始场景亮度

原始场景的拍摄是在特定的光照条件下进行的, 所以原始的场景图象中记录了面料表面的明暗变化。在进行纹理映射时, 从纹理图案中获取面料上某一点的颜色值, 然后根据原始场景中的亮度值, 来调整当前点的颜色。

(2) 网格面积加权法

假设光线的人射方向与人的视线方向相同, 都是垂直于屏幕的方向向里, 如图 6 所示, $\triangle ABC'$ 是面料曲面上的三角形, 投影在屏幕上, 得到伪曲面上的三角形 $\triangle ABC$, 两者的面积分别为 $S', S, \triangle ABC'$ 的法线方向 n 与视线方向夹角为 θ , 有

$$S = S' \cdot \cos\theta \quad (4)$$

因为曲面网格划分时是均匀划分的, 所以每个单元网格的面积 S' 是一个常量, 则有

$$S \propto \cos\theta \quad (5)$$

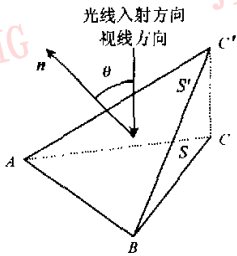


图6 网格面积加权法

考虑面料为理想漫反射表面,根据 Lambert 漫反射光照明模型^[8],面料表面上反射出来的漫反射光的强度同入射光与面料表面法向之间夹角的余弦成正比,即

$$I = k_d I_1 \cos\theta \tag{6}$$

$$I \propto \cos\theta \tag{7}$$

其中, I 为面料表面某处的漫反射光的光亮度, I_1 为点光源所发出的人射光亮度, k_d 为面料表面的漫反射率, θ 为入射光与表面法向之间的夹角。

由式(5)、式(7),得到

$$I \propto S \tag{8}$$

反射光线强度与伪曲面上的网格面积成正比。网格面积越大,亮度值越大,相反,网格面积越小,亮度值就越小。

根据这一理论,在计算面料表面任一位置上的光亮度值时,可先计算它所在的单元网格的面积,然后再根据面积来确定亮度值。

4 软件框架及其算法

面料的二维虚拟场景模拟系统的软件模块划分如图7所示。

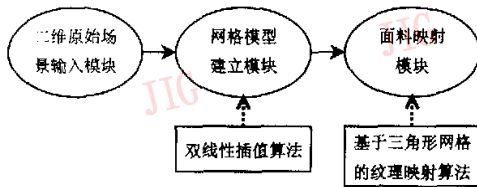


图7 系统的模块划分

建立伪曲面网格模型,是整个软件系统的重要模块,它将影响最终面料纹理映射效果的好坏。其主要步骤如下:

(1) 勾勒出面料在场景中4条边的曲线轮廓,形成曲边四边形。

(2) 增加面料在场景中的内部控制曲线,并改变控制曲线的走势,用以控制面料的变形与褶皱。

(3) 采用双线性插值法,生成面料在二维场景中的伪曲面网格模型。

(4) 判断所生成的伪曲面网格是否与二维场景中的实际情况吻合。如果还不吻合,转到第2步,直到吻合为止。

建立了面料的伪曲面网格模型之后,就可以选取设计好的面料图样、纹理,并映射到场景中去。具体的面料纹理映射算法如下:

(1) 对伪曲面网格模型中的每一个小四边形网格,按对角线划分成两个三角形。

(2) 对三角形中的每一点,解方程组(3),得出该点在纹理图象上的对应点坐标。

(3) 使用网格面积加权法计算面料上每一点的亮度值,或者复制原始场景中的亮度值,并结合纹理图象上的颜色值,得出面料在场景中的最终显示颜色。

5 结论

采用基于伪曲面网格模型的面料二维虚拟场景模拟系统,可以将设计的面料,比较逼真地展示在用户提供的特定虚拟场景中(比如人体、沙发、家具等等)输出一个静态效果图。

沙发(图8(a))和人体(图8(d))为原始场景。图8(b)和图8(c)给出了两种不同面料在沙发场景中的模拟效果图;图8(e)和图8(f)给出了两种不同面料在人体场景中的模拟效果。

可以看出,采用面料二维虚拟场景模拟方法,是很有效的,展示的效果非常逼真。

但是,在现实中,场景是三维的,面料的应用对象是三维的,因此,本方法的局限性也很明显。其主要表现在以下几个方面:

(1) 系统最终生成的结果只是一幅静态的效果图,不能像在三维场景中那样,将场景进行旋转,从多角度观察面料的展示效果。

(2) 由于在二维图象上缺少Z坐标数据,当面料的褶皱相互重叠时,伪曲面网格模型不能正确地表示,建模的难度较大。

(3) 在三维模型中,物体表面的光亮度可以非常精确地根据光照模型进行计算,而在二维模型中,

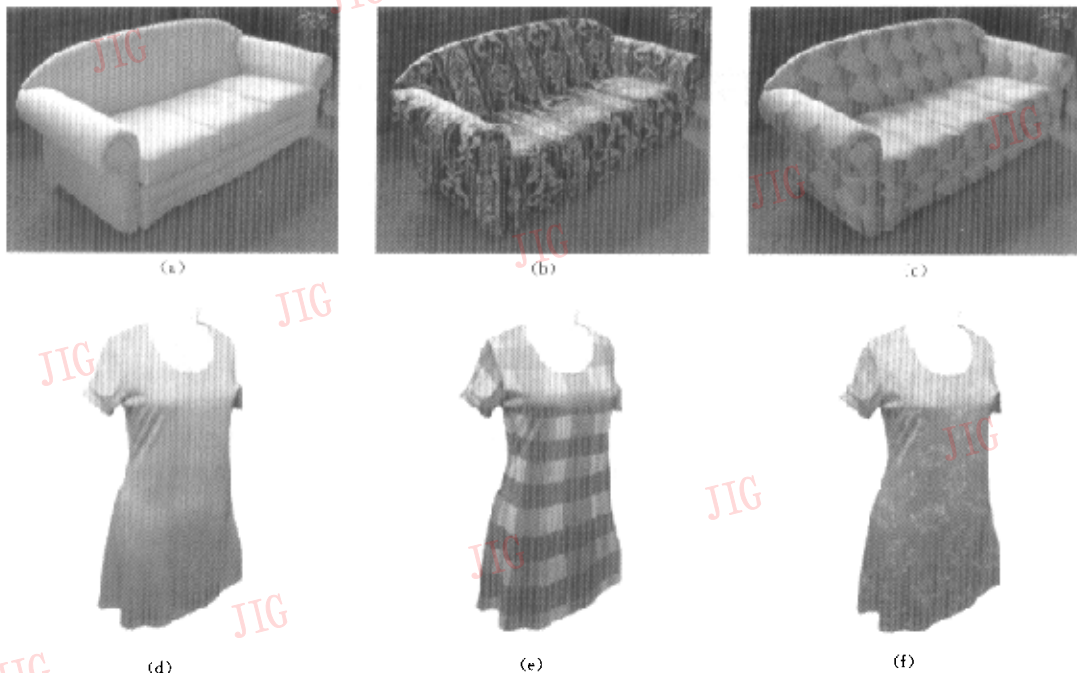


图 8 场景效果实例

光亮度的计算方法非常有限,本文提出的方法虽然是有有效的,但难以满足复杂情况下的亮度计算。

(4) 在采用“复制原始场景亮度”方法时,由于原始场景中的纹理将被叠加到最终的场景效果图中,所以,要求原始场景中没有任何花型纹理。

总之,本文的建模方法是通过在二维平面上勾勒曲线来完成的,相对于各种三维建模方法来说,其实现的难度不大,具有很好的实用价值。

参 考 文 献

- 1 郝金勇,冯毅力,李汝勤. 织物三维着装系统中几何建模和纹理映射技术的研究[J]. 中国纺织大学学报, 2000, 26(4): 11~13.
- 2 张瑞云. 用纹理映射技术实现三维着装效果展示[J]. 中国纺织大学学报, 2000, 26(4): 53~56.
- 3 朱心雄. 自由曲线曲面造型技术[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 44~51.
- 4 K Ho-Lo. Finite element mesh generation methods: a review and classification[J]. Computer Aided Design, 1988, 20(1): 27~38.
- 5 闵卫东, 唐泽圣. 有限元网格划分技术[J]. 计算机研究与发展, 1995, 32(7): 37~42.
- 6 Haber R, Shephard Mark S, Abel J F et al. A general two-dimensional, graphical finite element preprocessor utilizing discrete transfinite mappings [J]. International Journal for Numerical Methods in Engineering, 1981, 17(7): 1015~1044.

- 7 王进, 潘志庚, 叶澄清. 一种基于轮廓多边形的图像变形算法[J]. 计算机研究与发展, 1999, 36(11): 1358~1363.
- 8 彭群生, 鲍虎军, 金小刚. 计算机真实感图形的算法基础[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 29~31.

马凌洲 1976年生, 1997年获浙江大学计算机系计算机软件专业学士学位, 现为浙江大学计算机学院计算机应用技术专业博士生. 主要研究方向为计算机图形图像处理、CAD/CAM.



许端清 1966年生, 副教授, 1992年获浙江大学计算机系计算机软件专业硕士学位, 2003年获浙江大学计算机学院计算机应用技术专业博士学位. 主要研究方向为图象处理、CSCW、CAD/CAM等.



陈 纯 1955年生, 教授, 博士生导师, 1990年获浙江大学计算机系计算机应用专业博士学位. 主要研究方向为计算机图形图像处理、CAD/CAM、人工智能、CSCW等.

