

文章编号 :0253-9721(2006)06-0012-04

# 织物悬垂三维形态的测量与重建

沈毅,刘玄木,王寿兵

(浙江理工大学 浙江省现代纺织装备技术重点实验室,浙江 杭州 310018)

**摘要** 介绍了用结构光测量织物悬垂三维形态的方法。利用平行结构光在织物表面形成明暗相间的等高线条纹,用基于极坐标径向扫描的方法对织物投影图像中等高线条纹及织物边缘进行识别,得到织物曲面上的等高线及织物边缘点坐标,最后利用基于极坐标网格的三维曲面建模方法对悬垂织物的三维形态进行了重建。实验结果表明,上述方法能够比较理想地实现织物悬垂三维形态的测量与重建。

**关键词** 织物;悬垂形态;结构光;图像处理;三维

中图分类号:TS1 01.923.1 文献标识码:A

## Measurement and reconstruction of 3D draping shape of woven fabric

SHEN Yi, LIU Xuan mu, WANG Shou bing

( Zhejiang Province Key Laboratory of Modern Textile Machinery and Technology,  
Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou, Zhejiang 310018, China)

**Abstract** A method to measure the 3D draping shape of woven fabrics by structure light is proposed. A series of black and white stripe occurred on the surface of the fabric by parallel structure light. The contour lines and edge of the fabric in projection image are detected based on polar coordinated radial scan algorithm, by which a series of points on the contour lines and edge of the fabric are obtained. Finally, three-dimensional draping shape of fabrics is reconstructed through 3D surface modeling technique based on the polar grids. Experiment results show that the proposed method can reconstruct ideally the 3D draping shape of fabrics.

**Key words** fabric; draping shape; structure light; image processing; three-dimensions

织物的悬垂性是影响织物视觉美感的一个重要因素。目前,对于织物悬垂形态的测试,通常使用伞式投影法(F.R.L.),大都通过二维方式测量悬垂织物投影、面积等,给出诸如悬垂系数、活泼率、曲面波纹数等指标<sup>[1,2]</sup>。但是从视觉和美学风格来说,必须要考虑织物的三维形态,因此有必要开发一个三维测试系统,全面反映织物悬垂的三维特性,而有关这方面的研究报道还较少。本文提出了一种基于等高线用结构光来测量织物试样三维悬垂形态的方法。以极坐标径向扫描的方法对织物的悬垂图像进行边缘轮廓及等高线的图像识别,利用基于极坐标网格的三维曲面建模方法对悬垂织物的三维形态进行了重建。

## 1 等高条纹悬垂图像的获取

### 1.1 等高线的形成

等高线形成原理如图 1 所示。

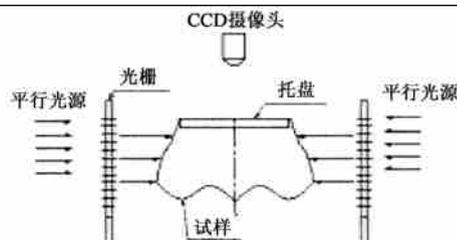


图 1 等高线形成原理

收稿日期:2005-09-27

修回日期:2005-12-21

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50275139);浙江省自然科学基金资助项目(01388-G)

作者简介:沈毅(1963-),男,副教授,硕士。主要研究领域包括纺织理论与设备、CAD及仿真等。

环型平行光源发出的平行光经过围绕在织物周围的环状光栅,形成一系列互相平行的光切面,在试样的表面形成明暗相间的等高线条纹。通过数码相机或 CCD 摄像头获取织物曲面的二维投影图。

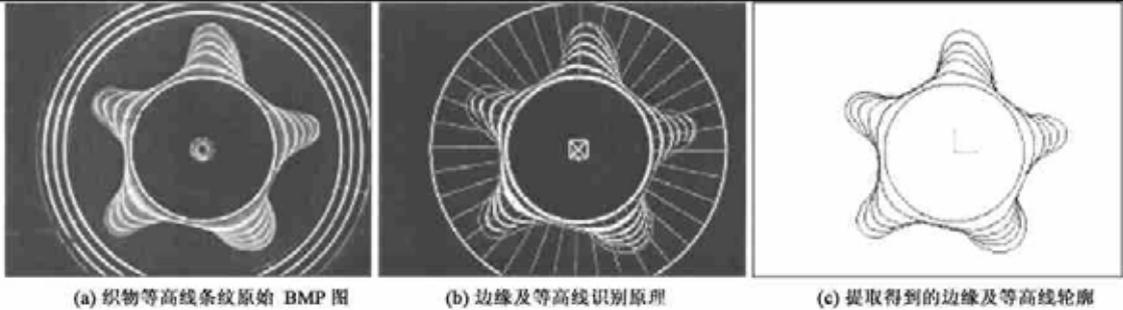


图 2 织物悬垂形态的图像处理

经图像处理转换成 BMP 图像。

## 2 织物悬垂图像处理

### 2.1 图像预处理

#### 2.1.1 图像定位

图像定位是要找出织物中心在图像中的位置,以便确定对图像处理的有效范围。由于在获取悬垂图像时,采用的是定焦定位拍摄,图像尺寸与实际的比例是一定的(忽略透视误差),因此在图像中找到试样中心及托盘轮廓即可实现标定和中心定位。

采用模板匹配方法确定试样中心在图像中的坐标位置,是一个有效且易行的方法。模板匹配的基本思路是:设有模板  $g(x, y)$ , 希望检测它在图像  $f(x, y)$  中的情况,将模板置于图像中,移动模板并比较模板的亮度值与图像中的对应值。因为亮度值很少能够很好的匹配,需要测量模板亮度值同对应图像值之间的不相似度。计算不相似度的方法有很多,其中误差平方和的方法是流行的测量方法。误差平方和定义如下:

$$\sum_{[x,y] \in R} (f - g)^2 = \sum_{[x,y] \in R} f^2 + \sum_{[x,y] \in R} g^2 - 2 \sum_{[x,y] \in R} fg \quad (1)$$

式中,  $R$  为模板区域。当误差平方和取得最小值,且小于某个阈值,即认为完成匹配。图像定位的结果如图 2(b) 所示。图中白色线框正方形内为要预先取出的圆盘中心  $50 \times 50$  像素的区域模板,定位得到的模板位置中心即为圆盘中心  $O(x_0, y_0)$ 。

#### 2.1.2 图像滤波

为了去除噪声,提高图像质量,需对图像进行平滑滤波。采用伪中值滤波不仅有效抑制脉冲干扰和

### 1.2 图像采集

图 2(a) 为在黑白模式下采集到的某一织物试样的等高线图像,经 USB 接口输入计算机,将原图

椒盐噪声,还可大大提高处理速度<sup>[2]</sup>。

### 2.2 织物悬垂图像的边缘轮廓识别

边缘轮廓的提取通过 3 个步骤完成。首先用基于极坐标径向扫描的算法获得织物边缘采样点坐标,然后用修正算法对采样坐标点序列进行修正,最后通过几何关系计算出边缘上每一点的高度值,依次连接修正后的坐标点序列即得到织物悬垂的边缘轮廓。由于采样点高度值的计算相对简单,这里主要介绍前 2 个步骤。

#### 2.2.1 边缘识别

算法原理如图 2(b) 所示,其中大圆半径为  $2R$ ,小圆半径为  $R$ 。以定位得到的圆盘中心  $O(x_0, y_0)$  为原点,以水平位置为  $0^\circ$  线,将图像直角坐标系转化为极坐标系,用极坐标访问像素。令  $\theta \in [0, 360^\circ)$ ,  $r \in [R, 2R)$  即可访问所有的点。

这里根据边缘点处图像梯度值一般要大于背景图像的梯度值(先验知识)方法来提取边缘样点。按顺序执行下列步骤,满足边缘点条件的点均标记为候选边缘点,只要检测到满足条件的像素点就跳出内循环。

置循环参数:外循环周向  $\theta$  从  $0$  到  $360^\circ$ ,步长  $\Delta\theta$  为  $1^\circ$ ;内循环径向  $r$  从  $2R$  到  $R$ ,步长  $\Delta r$  为  $1$ (像素)。

边缘点条件:依据极坐标特点,在法向和切向构造 Sobel 算子如下

$$Sob(r, \theta) = \{ [f(r + \Delta r, \theta) - f(r - \Delta r, \theta)]^2 + [f(r, \theta + \Delta\theta) - f(r, \theta - \Delta\theta)]^2 \}^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

由先验知识可以知道背景图象上的最大梯度值,设为  $T_g$ 。若  $f(r, \theta)$  为边界点,则应满足条件

$$\text{Sob}(r, \theta) > \sqrt{2} T_g \quad (3)$$

式中,  $T_g$  阈值为先验值。

### 2.2.2 候选轮廓点修正

上面所得到的候选轮廓点坐标序列中, 绝大部分是真正的轮廓点。但是, 也有一些非轮廓点混在其中, 需想办法剔除。设某一候选轮廓点为  $P(r, \theta)$ , 对应的半径长度为  $r$ , 考虑到织物试样轮廓的连续性, 候选轮廓点坐标序列中相邻两点对应的半径差异不会太大。若以  $X$  轴表示序列中序号,  $Y$  轴表示对应的半径长度, 则会得到全部半径的展开曲线, 通过计算曲线上每一点的曲率, 当某一点曲率过大时, 则将其从候选点坐标序列中剔除。依次连接每个修正过的边缘点即得到织物的边缘轮廓, 见图 2(c)。

### 2.3 光栅条纹的识别

与边缘识别的算法相似, 光栅条纹也可以利用射线相交法来求取所需的信息, 具体方法: 1) 将得到的边缘轮廓范围内图像进行迭代阈值化处理, 得到光栅条纹的二值化图像。2) 以圆盘中心  $O(x_0, y_0)$  为原点, 以水平位置为  $0^\circ$  线, 从原点开始沿  $0^\circ$  射线方向从中心圆盘半径  $R$  到织物边界轮廓逐点获得当前点的位置和颜色值, 并与白色值比较。如果是白色, 则将当前点的位置压入堆栈; 如果是黑色, 则将当前点推进到射线上的下一点。当到达边缘轮廓时, 在堆栈中形成若干条线段坐标, 计算每条线段的中点坐标, 这些中点坐标被标记为等高线候选点依次存入数组。这里直线的像素生成算法采用的是 Bresenham 算法<sup>[3]</sup>。该算法原理简单, 计算量小, 使用广泛。3) 当射线到达边缘轮廓后, 改变角度, 再次作射线, 重复上述步骤, 直到角度值大于或等于  $360^\circ$ 。最终得到一个  $M \times N$  的数组, 其中  $M$  是射线的数量,  $N$  是等高线的数量。数组中每个元素包含了水平位置和高度信息。4) 对每条等高线的候选点分别按 2.2.2 中的候选轮廓点修正算法, 依次连接各等高线点, 最终得到各条等高线, 见图 2(c)。图 2(c) 中以  $1^\circ$  为步长, 共使用了 360 条射线, 如果要得到更精确的等高线轮廓, 可以使用更多的射线。

## 3 悬垂形态的三维重建

### 3.1 极坐标网格三维建模

用等高线来构造复杂曲面模型是一类重要的曲

面重建方法, 现在已经有许多可行的计算方法。在实际应用中, 基于等高线的三维曲面剖分方式主要有 3 种: 均匀网格模型、非均匀网格模型、三角网格模型<sup>[4]</sup>。均匀网格模型是等高线三维模拟中一种最常用的模型<sup>[5]</sup>, 由于等高线及织物边缘采样点是在极坐标下得到的, 因此将均匀网格模型引入极坐标下构造了基于极坐标下的网格模型。其原理如图 3 所示, 以圆盘中心  $O(x_0, y_0)$  为原点, 以水平位置为  $0^\circ$  线建立极坐标网格, 将等高线投影于给定网格。产生极坐标网格后, 需确定织物曲面上每一网格点的高度值。显然, 由等高线采样点所投影生成的网格点值可由等高线直接给出, 其余网格交叉点的高程值由相邻等高线的高程值插值得到。这里采用一种基于等高线相似性变化特性<sup>[6]</sup>的等高线内插方法计算插值点高程值。该算法利用等高线自身的形态、形状以及相邻等高线形状的变化规律等信息, 从曲面整体的变化规律出发, 能够比较精确地实现网格点的插值。

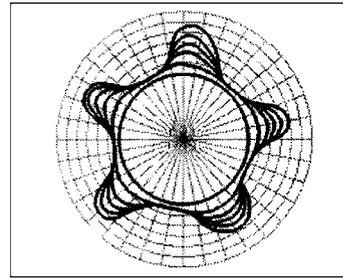


图 3 极坐标网格

该算法基本原理: 设已知两相邻等高线为  $P(p_i(x_i, y_i) \in P, i = 1, 2, \dots, n)$  和  $Q(q_i(x_i, y_i) \in Q, i = 1, 2, \dots, m)$ , 位于等高线  $P, Q$  高程之内的任一中间等高线为  $T(t_i(x_i, y_i) \in T, i = 1, 2, \dots, u)$ 。根据相邻等高线的形状相似性变化规律可知:

$$T = WP + W'Q \quad (4)$$

式中,  $W, W'$  为权函数。若能够正确选择一组描述相邻等高线形状相似性变化关系的系数, 由式(4)可以得到位于等高线  $P, Q$  高程之内的任一中间等高线, 再通过一个映射函数将所获得的二维空间的等高线映射到三维空间中去, 从而实现相邻等高线之间的三维重建。详细的数学模型参见文献<sup>[6]</sup>。

### 3.2 极坐标均匀网格面的实现

运用上述网格模型可以计算出每个网格点的高度值, 直接连接相邻高程多边形中对应的顶点来生

成织物悬垂曲面多边形,如图4(a)所示。编程环境为 Windows XP, Visual C++ 6.0 平台,OpenGL 工具。

### 3.3 光照和材质及纹理映射

上述网格模型并不能真实反映织物的悬垂效果,要进一步对其进行面片的填充、计算网格点法向量、光照及材质处理、纹理映射等操作才能最终使模型更加逼真。图4(b)显示了织物三维悬垂形态模拟的最终效果。

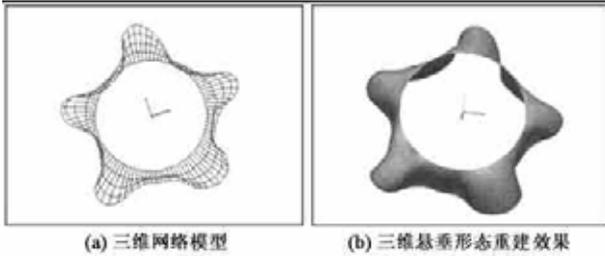


图4 悬垂的三维建模及计算机显示

## 4 讨论

通过调研发现,目前对织物悬垂试样作曲面重建有2种方法。第1种是用直纹曲面重建织物试样曲面,这种方法将织物试样悬垂线近似为直线,根据识别出的试样边缘坐标,用直纹面近似表达织物悬垂试样曲面。图5是用该方法对2种试样三维悬垂形态重建的效果。

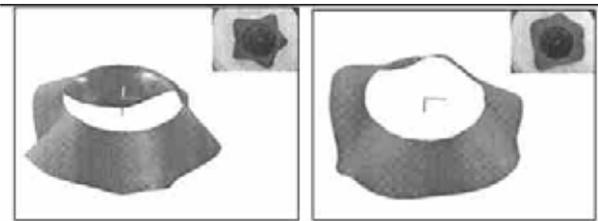


图5 直纹曲面重建试样三维悬垂形态

第2种方法即参考文献[2]中提到的基于试样表面灰度信息对其三维曲面重建的方法。首先通过流动阈值分割算法,将织物试样同背景分离,同时保留了织物试样曲面上阴影灰度值,然后根据这些蕴藏三维信息的灰度值对试样曲面进行重建,这种方法即模式识别中由灰度恢复物体形状的方法 SFS

(shape from shading)。

与本文提出的基于等高结构光测量重建织物悬垂三维形态的方法比较,上述2种方法均未对织物悬垂曲面坐标进行测量。第1种方法仅利用织物试样的边缘坐标信息,用直纹面重建的试样曲面并不能代表真实的织物悬垂形态曲面;第2种方法虽然利用了蕴藏三维信息的灰度值,但是由于目前 SFS 技术的研究还主要集中在理论阶段,传统的 SFS 方法都是基于一些关于成像条件和反射特性等方面特定的假设,因此用这种方法只能得到较为粗略的织物悬垂形态三维曲面<sup>[7]</sup>。

## 5 结语

提出了一种基于等高结构光测量获取织物悬垂三维形态的方法。采用极坐标径向扫描等算法获取悬垂织物边缘轮廓和等高线,用基于极坐标均匀网格模型重建三维曲面形态。实验表明,该方法对多数织物是适用的,是一种可行的新方法。但对于一些具有印花图案或镂空织物的识别尚有难度,有待进一步深入研究。

FZXB

### 参考文献:

- [1] 郭永平,李长龙,李汝勤. 织物悬垂性理论及测试方法研究综述[J]. 中国纺织大学学报,1999,25(3):94-98.
- [2] 余序芬,刘建,费玉忠. 应用微机图像处理技术测试织物悬垂性研究——织物悬垂图像测试方法[J]. 中国纺织大学学报,1999,25(1):33-37.
- [3] 孙家广. 计算机图形学[M]. 第3版. 北京:清华大学出版社,2000.169-170.
- [4] 刘坤良,朱莉,梁俊. 基于等高线的三维地形造型和可视化技术研究[J]. 现代计算机,2003,(10):25-28.
- [5] Kaneda K, Kato F, Nakamae E, et al. Three dimensional terrain modeling and display for environment assessment [J]. Computer Graphics, 1989, 23(4):207-214.
- [6] 黄培之. 基于等高线特性的三维表面重建方法的研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2005,30(8):668-672.
- [7] 俞鸿波,赵荣椿,王兵. 基于阴影的三维表面重构技术的概述[J]. 计算机工程与应用,2004,(10):30-33.