

基于机器视觉的织物经线偏移检测方法^①

程建豪¹, 祝锡晶¹, 田 思², 李永平²

¹(中北大学 机械与动力工程学院, 太原 030051)

²(宁波大红鹰学院 信息工程学院, 宁波 315000)

摘 要: 针对我国印染行业一直以来人工扒幅退捻, 工效低, 劳动强度大的难题, 提出了基于机器视觉的经线偏移的检测方法, 大大提高退捻效率与精度. 利用 CCD 摄像机获取织物的图像, 对获取的图像进行 Blob 分析, 分析的主要流程包括: 图像的提取, 分割图像(初始分割、形态学处理等), 特征提取. 通过实验表明, 该方法可以检测出经线的偏移的角度, 且有很高精度, 可用于立式退捻开幅机.

关键词: 机器视觉; 图像处理; 经线偏移; 形态学处理; 高斯平滑

Fabric Meridian Offset Detection Method Based on Machine Vision

CHENG Jian-Hao¹, ZHU Xi-Jing¹, TIAN Si², LI Yong-Ping²

¹(School of Mechanical and Power Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

²(Information Engineering, Ningbo Dahongying University, Ningbo 315000, China)

Abstract: To deal with the problems like artificial steak untwisting, the low work efficiency and labor intensity in printing and dyeing industry in our country, meridian skew detection method based on machine vision is proposed. It greatly improves the efficiency of untwisting and precision. By using a CCD camera to obtain images of the fabric, the system uses the obtained images for Blob analysis. The analysis of the main process includes the extraction of image, image segmentation(the initial segmentation, morphology processing, etc.), and feature extraction. Experiments show that the method can detect the warp of skew, and has very high precision, can be used for vertical untwisting of machine.

Key words: machine vision; image processing; meridian offset; morphological processing; Gaussian smoothing

1 引言

退捻开幅机主要功能是对织布进行剖布、退捻以及开幅, 但是我国印染行业一直以来人工扒幅退捻, 工效低, 劳动强度大, 如何提高退捻效率以及精度成为印染行业亟待解决的问题之一. 上世纪 90 年代我国新型系类绳状退捻开幅机问世, 采用红外线传感器对中装置, 具有体积小, 占地面积少, 高度适中, 运行平稳、受力均称、安装方便等优点^[1], 但仍然还有适用织物类型少、检测精度不够高等缺点. 最近几年, 机器视觉以及图像处理技术在印染及其它行业中的应用越来越广泛, 比如织物的纬斜检测、非织造结构的检测等^[2-3]. 本文提出了一种基于机器视觉的织物经线偏移检测方法, 利用 CCD 摄像机获取织物图像, 对图像进行 Blob 分析进行织物经线偏移的检测, 提高织物经线偏移检测的精度, 用于立式退捻开幅机.

2 基本步骤

基于机器视觉的织物经线偏移检测的基本步骤如图 1 所示: 利用 CCD 摄像机获取织物的图像, 提取图像对其进行高斯平滑消除噪声干扰, 再获取图像的尺寸, 然后对图像进行 Blob 分析, 主要包括利用 threshold 对图像的分割、形态学处理、特征提取, 最后对图像进行霍夫变换, 经过上述步骤继而可以检测出经线的偏移以及偏移的角度.

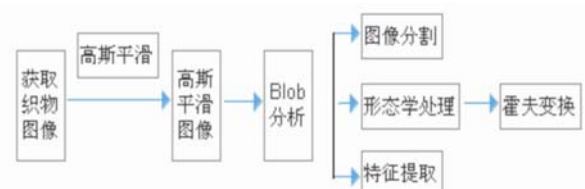


图 1 经线偏移的检测步骤

① 收稿时间:2014-07-03;收到修改稿时间:2014-09-02

3 图像处理

3.1 高斯平滑

高斯平滑滤波器是一种根据高斯函数的形状来选择权值的平滑线性滤波器,它对去除服从正态分布的噪声是有效果的,而且在对邻域内像素灰度进行平均时,给予了不同位置像素不同的权值.模板上越是靠近邻域中心的位置,其权值就越高,如此安排权值的意义在于用此模板进行图像平滑时,在对图像细节进行模糊的同时,可以更多地保留图像总体的灰度分布特征,高斯模板上的权值是由高斯分布函数确定的^[4].

$$\text{一维零均值高斯函数为: } g(x) = e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

其中,高斯分布参数标准偏差 σ 决定了高斯滤波器的宽度. σ 越大,高斯滤波器的频带就越宽,平滑程度就越好.对图像处理来说,常用二维零均值离散高斯函数作平滑滤波器:

$$G(x,y) = Ae^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} = Ae^{-\frac{r^2}{2\sigma^2}}$$

对上面连续高斯分布进行采样、量化,并使其模板归一化,得到离散模板:

$$G(x,y) = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

高斯滤波器很好地解决了空间距离加权平均的问题.

在 HALCON 中利用 `gauss_image (Image, ImageGauss,Size)` 算子对获取的织物图像进行计算,其中 Size 可取值 3、5、7、9、11, σ 对应的值分别为 0.65、0.87、1.43、1.88、2.31,由于 σ 越大高斯滤波器的频带就越宽,平滑程度就越好,所以取 Size 值为 11 ($\sigma=2.31$) 进行图像处理计算.

如图 2(a)所示为摄像机获取织物图像,图 2(b)为对图像进行高斯平滑后的图像.



(a) 织物图像 (b) 高斯平滑图像

图 2 高斯平滑

3.2 图像分割

图像分割是指将图像中具有特殊意义的不同区域分离开,这些区域是相互不相交的,每个区域满足特定区域的一致性条件.给出图像分割的定义^[4]:将一幅图像 $g(x,y)$,其中 $0 < x < Max_x, 0 < y < Max_y$,进行分割就是将图像划分为满足如下条件的 N 个子区域 $g_i(x,y), i=1 \sim N$.

(1) $\bigcup_{i=1}^N g_i(x,y) = g(x,y)$ 即所有子区域组成整副图像.

(2) $g_i(x,y)$ 是连通区域,即在该区域内存在连接任意两点的通路.

(3) $g_i(x,y) \cap g_j(x,y) = \emptyset (i, j=1 \sim N, i \neq j)$, 即任意两个子区域不存在公共关系.

(4) 区域 $g_i(x,y)$ 满足一定均匀(或相似)条件,即该区域内所有像素点满足灰度、纹理、颜色等特征的某种相似性准则.

由于本图像 $f(x,y)$ 由暗以背景上的较亮对象组成,目标和背景像素会具有两种主要模式的灰度级,采用全局阈值处理选取一个阈值 t 来分离这两种模式.任何满足 $f(x,y) \geq t$ 的点 (x,y) 称为对象点,其他点则称为背景点.换言之,阈值处理后的图像 $g(x,y)$ 定义为

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{如果 } f(x,y) \geq t \\ 0 & \text{如果 } f(x,y) < t \end{cases}$$

标注为 1 的像素对应于对象,而标注为 0 的像素则对应于背景.

本文中使用了 Otsu 方法来计算阈值. Otsu 算法的描述^[5]: L 表示一幅图像的灰度级,灰度值为 i 的像素在图像中的数量用 n_i 表示, n 表示图像总的像素数量, p_i 表示灰度图像中灰度值为 i 出现的概率,那么 $p_i = n_i/n$. 根据图像的灰度值和阈值 t ,能够将图像中的像素分成两类 C_0 和 C_1 ,那么 $C_0 = \{0,1,2,\dots,t\}$, $C_1 = \{t+1,t+2,\dots,L-1\}$. 那么这两个类 C_0 和 C_1 出现的概率就分别为:

$$w_0 = \sum_{i=0}^t p_i = w(t);$$

$$w_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} p_i = 1 - w(t)$$

这两个类 C_0 和 C_1 的灰度均值分别为:

$$\mu_0 = \sum_{i=0}^t i \frac{p_i}{w_0} = \frac{\mu(t)}{w(t)},$$

$$\mu_1 = \sum_{i=t+1}^{L-1} i \frac{p_i}{w_1} = \frac{\mu_T - \mu(t)}{1 - w(t)}$$

其中 $\mu(t) = \sum_{i=0}^t ip_i, \mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} ip_i$.

假设用 σ_B^2 表示目标和背景这两个类的之间的类间方差, 那么有:

$$\sigma_B^2 = w_0(\mu_0 - \mu_T)^2 + w_1(\mu_1 - \mu_T)^2,$$

最佳阈值 t^* 使用下面的式子得到:

$$t^* = \text{Arg max} \{ \sigma_B^2(t) \}, 0 \leq t \leq L-1.$$

本图像中目标体与背景之间存在灰度差, 利用 HALCON 中速度最快使用频率最高的分割算法 `threshold(Image : Region : MinGray, MaxGray :)` 算子对图像进行分割. 其中 `threshold` 定义为:

$$R = \{(x, y) \in R \mid g_{\min} \leq g(x, y) \leq g_{\max}\}$$

选取从输入图像灰度值的 g 满足下列条件: $60 \leq g \leq 255$. 如图 3 为对高斯平滑图像进行分割之后的图像.

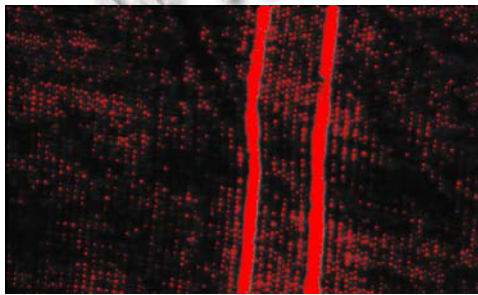


图 3 分割图像

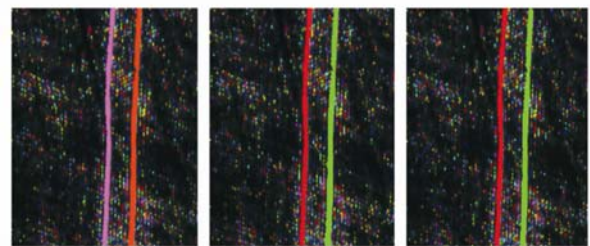
3.3 形态学处理

分割之后, 往往需要对区域做进一步处理才能满足要求.

首先是图像连通 `connection(Region, ConnectedRegions)`, 连通是指集合中任意两个点之间都存在着完全属于该集合的连通路. 阈值分割后, 需要提取目标物体, 为了提取目标物体不得不先找到连通区域, 提取连通域的关键是领域搜索的类型. 对于离散图像而言, 连通有 4 连通和 8 连通之分. 四连通指的是从区域内一点出发, 可在区域中通过上、下、左、右 4 个方向的移动, 到达区域内的任意像素位置; 八连通指的是从区域中的一点出发, 可通过上、下、左、右、左上、右上、左下、右下这 8 个方向的移动组合来到达区域内的任意像素^[6]. 本图像中使用 8 连通法, 如图 4(a)为图像的连通域图像, 显示出合并所有选定像素触摸相互连通区.

然后是筛选形状 `select_shape(ConnectedRegions, SelectedRegions, 'area', 'and', 150, 99999)`, 选择所连通的区域进而对每个区域就行特征计算, 计算结果如果在 150-99999 范围内则输出到图像中. 图 4(b)为筛选形状后的图像.

最后是打开具有圆形结构元素的区域, 平滑图像的边缘 `opening_circle(SelectedRegions, RegionOpening, 3.5)`. 本文中其半径采用默认值 3.5, 如图 4(c)为平滑边界之后的图像.



(a)连通域图像 (b)筛选形状 (c)平滑边界

图 4 形态学处理

3.4 特征提取

特征提取是使用计算机提取图像信息, 决定每个图像的点是否属于一个图像特征, 主要用于分割后选择出所需的目标物体, 其结果是把图像上的点分为不同的子集, 这些子集往往属于孤立的点、连续的曲线或者连续的区域. 常用的图像特征有颜色特征、纹理特征、形状特征、空间关系特征. 针对织物的图像, 其中形状信息不随图像颜色的变化而变化, 是物体的稳定特征. 形状特征区别物体非常直观, 形状是人们区分图像的经常运用的主要特征之一. 因此, 利用形状特征检索图像可以有效提高检索的准确性和检索效率. 只是应该注意, 形状描述应该在尽可能好地区别不同目标的基础上对目标的平移、旋转和尺度变化具有相对最好的不敏感. 基于形状特征的图像检索多被用于二值图像的检索, 因为对于二值图像来说, 纹理和颜色信息通常无法满足检索需要, 从而必须从图像的形状着手.

本文所采用的图像特征为形状特征 `smallest_rectangle2(SelectedRegions1, Row, Column, Phi, Length1, Length2)`. 形状特征描述了区域的几何特征, 这些特征不依赖于灰度值, 比较有效地利用图像中感兴趣的目标来进行检索. `smallest_rectangle2` 以矩形像素坐标的角落计算矩形的区域.

3.5 霍夫变换

霍夫变换是一种检测、定位直线和解析曲线的有效方法。它将原始图像中给定形状的曲线或直线变换到参数空间的一个点，即原始图像中给定形状的曲线或直线上的所有点都集中到参数空间的某个点上形成峰值。这样，就把原始图像中给定形状的曲线或直线的检测问题，变成了寻找参数空间中峰值的问题，也即把检测整体特性(给定曲线的点集)变成检测局部特性的问题。霍夫变换最大的优点是抗干扰性强，即曲线上有小的扰动、间隙、甚至虚线，经霍夫变换后，均能在变换空间形成明显的峰值。

霍夫变换的基本思想是利用点一线的对偶性。即图像空间共线的点对应在参数空间里相交的线；反过来，在参数空间中相交于同一个点的所有直线(曲线)在图像空间里都有共线的点与之对应。这里，可以拿本文中涉及到的直线进行说明。在图像空间 XY 里，所有过点 (x, y) 的直线都满足方程： $y = px + q$ ，其中 p 为斜率， q 为截距。方程 $y = px + q$ 也可以写成 $q = -px + y$ ，可认为代表参数空间 PQ 中过点 (p, q) 的一条直线。

图 5 给出了一个示例，图 5(a)为图像空间，图 5(b)为参数空间。

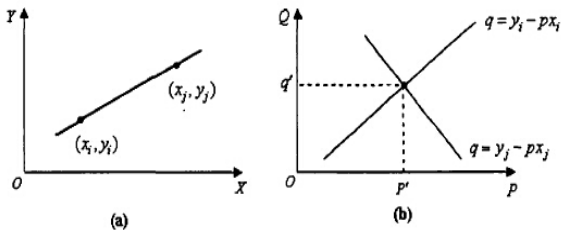


图5 图像空间和参数空间中的点、线对偶性

在图像空间 XY 中过点 (x_i, y_i) 的通用直线方程按式 $y = px + q$ 可写为 $y_i = px_i + q$ ，也可照式 $q = -px + y$ 写成 $q = -px_i + y_i$ ，后者表示在参数空间 PQ 里的一条直线。同样地，过点 (x_j, y_j) 有 $y_j = px_j + q$ ，也可写成 $q = -px_j + y_j$ ，它表示在参数空间 PQ 里的另一条直线。设这两条直线在参数空间 PQ 里的点 (p', q') 相交，这里对应图像空间 XY 中一条过 (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) 的直线，因为它满足 $y_i = p'x_i + q'$ 和 $y_j = p'x_j + q'$ 。由此可知，图像空间 XY 中过点 (x_i, y_i) 和 (x_j, y_j) 的直线上的每个点都对应应在参数空间 PQ 里的一条直线，且这些直线相交于点 (p', q') 。

由此可知在图像空间中共线的点对应在参数空间里相交的线，反过来，在参数空间中相交于同一个点

的所有直线在图像空间里都有共线的点与之对应，这就是点一线的对偶性。根据点一线的对偶性，当给定图像空间的一些边缘点，就可以通过霍夫变换确定连接这些点的直线方程。霍夫变换把在图像空间中的直线检测问题转换到参数空间里对点的检测问题。

织物图像计算经线的偏移角度的问题可以变成计算直线的斜率问题，因此寻找直线斜率的问题就变成了参数空间寻找最值的问题了。在本图像中经过霍夫变换后寻找曲线相交最多的点，即为最大值，就可以检测出图像中的直线。如图 6 为织物图像经过霍夫变换得到的经线偏移角度。

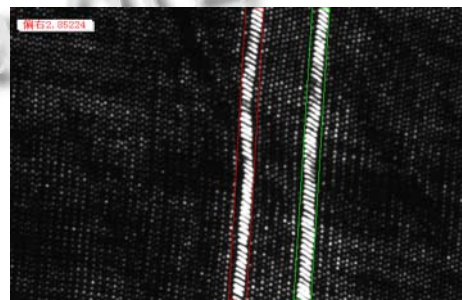


图 6 织物经线偏移角度

4 实验分析

获取 512×512 的织物图像进行本次实验分析，以图 2(a)为例，将图像中经线的位置视为未发生偏移的织物图像的标准，偏移角度记为 α 。将织物的标准图像以顺时针方向和逆时针方向分别旋转 5° 、 10° 、 15° 、 20° 、 25° 、 30° ，得到 12 幅发生不同经线偏移的图像，使用本文中经线偏移检测方法分别检测 12 幅图像偏移的角度，将得到的偏移图像的角度与标准值进行比较，得到的数据图表 1 所示。

表 1 实验数据

标准值($^\circ$)	测量值($^\circ$)	误差($^\circ$)
-27.15	-27.14	0.01
-22.15	-22.15	0
-17.15	-17.15	0
-12.15	-12.15	0
-7.15	-7.13	0.02
-2.15	-2.09	0.06
7.85	7.89	0.04
12.85	12.84	0.01
17.85	17.85	0
22.85	22.85	0
27.85	27.86	0.01
32.85	32.85	0

计算得到平均绝对误差为 $\overline{\Delta\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^{12} \Delta\alpha_i}{12} = 0.01$, 平均相对误差为 $\overline{\Delta\alpha'} = \frac{\overline{\Delta\alpha}}{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} |\alpha_i|} = 0.06\%$. 由图 7 可以看出,

检测的误差在 0.01-0.06 之间, 且 0.06 只出现在偏移角度较小的情况, 这是由于织物本身的纹理所造成的, 其余的误差基本控制在 0.02 左右. 本文在织物经线顺时针和逆时针方向各偏移 30° 的情况下对其做出检测结果, 可以检测出其偏移角度而且具有较高的精度, 所以实验证明了本文中检测方法的可行性.

本文中的检测结果精确到 0.01, 实验的误差 $\Delta\alpha$ 如图 7 所示.

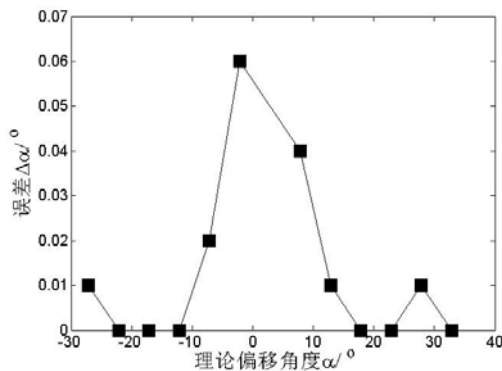


图 7 误差曲线

5 结语

本文提出了基于机器视觉与图像处理的经线偏移检测方法: 利用高斯平滑消除图像的噪声干扰; 而后获取图像的尺寸对其进行 Blob 分析; 使用 threshold 算子进行图像分割; 分割之后利用 connection、select_shape、opening_circle 做形态学的处理; 利用 smallest_rectangle2 特征提取最后利用霍夫变换得到织物经线偏移的角度. 实验表明, 本文中检测方法有较高的精度, 对于基于机器视觉与图像处理经线偏移检测的设备具有较高的参考价值.

参考文献

- 1 张立荣. 新型系列绳状退捻开幅机问世. 纺织机械, 1996: 56.
- 2 金守峰. 面向机器视觉的织物纬斜检测方法. 天津工业大学学报, 2011, 30(2): 40-42.
- 3 李佳彦, 丁永生, 张中炜. 面向摄像整纬器的织物纹理图像识别方法. 计算机工程与应用, 2007, 43(13): 214-216.
- 4 Gonzalez RC. 阮秋琦译. 数字图像处理 (MATLAB 版). 北京: 电子工业出版社, 2007.
- 5 Ostu N. A Threshold selection method from gray-level histograms. Trans. on Systems, Man and Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.
- 6 Parker JR. 景丽译. 图像处理与计算机视觉算法及应用. 北京: 清华大学出版社, 2012.