

DOI: 10.19333/j.mfkj.2017120321105

# 基于方差投影与相关系数的色织物密度检测

景军锋, 张星星

(西安工程大学 电子信息学院 陕西 西安 710048)

**摘要:** 为提高色织物密度检测的准确性, 提出了方差投影与相关系数相结合的色织物密度检测方法。首先, 校正倾斜的织物图像并通过顶帽变换提高图像对比度, 然后根据图像梯度检测水平和垂直方向上的边缘, 增强边缘信息后提取其骨架, 得到色织物不同颜色区域的分界线; 最后, 依据分界线坐标将图像分为若干个子图像, 统计子图像方差投影与相关系数数据, 从而计算出色织物密度。实验结果表明: 此方法的平均误差率在0.4%以下, 对色织物密度检测具有一定的应用价值。

**关键词:** 色织物; 密度检测; 图像梯度; 方差投影; 相关系数

中图分类号: TP 391.4 文献标志码: A

## Yarn-dyed fabric density detection based on variance projection and correlation coefficient

JING Junfeng, ZHANG Xingxing

(College of Electronics and Information, Xi'an Polytechnic University, Xi'an, Shaanxi 710048, China)

**Abstract:** In order to improve the accuracy of yarn-dyed fabric density detection, a yarn-dyed fabric density detection method combining with the variance projection and correlation coefficient was proposed. Firstly, the skewed fabric image was corrected and the image contrast was improved by applying the top hat transform. Then, the edges in the horizontal and vertical directions were detected based on the image gradient, following which the edge information was enhanced to extract the skeleton, and the boundaries of the different color areas of the yarn-dyed fabric were obtained. Finally, the image was divided into a number of sub-images according to the boundaries coordinates, the statistics of variance projection and correlation coefficient data of sub-images to calculate the density of yarn-dyed fabric. The experimental results show that the average error rate of the proposed method is below 0.4%, which has certain application value in yarn-dyed fabric density detection.

**Keywords:** yarn-dyed fabric; density detection; image gradient; variance projection; correlation coefficient

随着纺织行业的快速发展以及人民生活水平的提高, 人们对于织物的品质要求也越来越高。在生产过程中, 织物密度是评价织物质量非常重要的指标之一, 分为经向密度和纬向密度。织物密度能够直接决定织物的外观和质量, 因此, 对织物密度进行

研究具有重要的实际意义。

文献[1-3]都报道了基于傅里叶变换的机织物密度检测方法, 但是傅里叶变换法在图像重构过程中对不同的色织物需要设置不同的频带参数。He等<sup>[4]</sup>提出了基于小波变换的方法检测织物密度, 而小波分解层数没有一个统一的标准, 不同分解层数检测结果差异较大。张江丰<sup>[5]</sup>提出了灰度投影法检测织物密度的方法。Zhang等<sup>[6]</sup>提出了基于织物子图像投影统计法计算织物密度, 文献[5-6]都使用积分投影法计算织物密度, 对于颜色复杂的色织物, 会造成漏检。

收稿日期: 2018-01-02

基金项目: 国家自然科学基金(61301276); 陕西省工业科技攻关项目(2015GY034)

第一作者简介: 景军锋, 教授, 博士, 主要研究方向为机器视觉与图像处理。E-mail: 413066458@qq.com。

针对以上检测方法所存在的不足,本文提出方差投影与相关系数相结合的色织物子图像密度检测。首先对图像进行预处理,使用 Radon 变换校正倾斜的织物图像并进行图像增强,进而利用 Sobel 算子提取出不同颜色区域分界线对图像进行分割。最后,对每一个子图像结合方差投影法与相关系数法确定纱线位置,统计子图像纱线位置数据计算出色织物密度。

### 1 图像预处理

本文的色织物密度测试图片均由 Canon 9000F 扫描仪扫描获得,分辨率为 600 dpi。由于在图像的采集过程中,织物会出现一定角度的倾斜,使得色织物密度检测误差较大,因此需要对色织物样本进行倾斜校正。图像预处理结果见图 1。将彩色图像转换为灰度图像,并且使用均值滤波器平滑图像,通过 Radon 变换计算图像在各个方向上的灰度投影,若在某个方向上的灰度积分值很大,则说明在该方向上存在线段,根据线段的角度值旋转原始图像,达到倾斜校正的目的<sup>[7-9]</sup>。

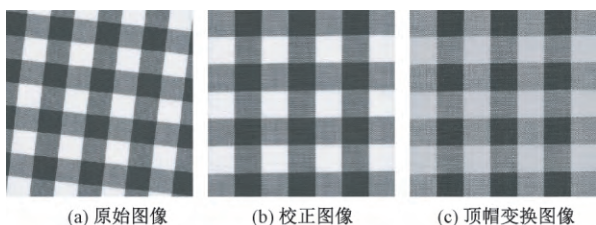


图 1 图像预处理结果

图像经过倾斜校正之后,裁剪图像,最终统一图像大小为 1 300 像素 × 1 300 像素,结果如图 1(b) 所示。此时经纱和纬纱分别处于垂直方向和水平方向,应用高斯滤波以降低图像噪声。为了使图像的纹理特征更加显著,提高色织物经纬纱交点与其邻域像素的对比度,利用顶帽变换增强图像<sup>[10]</sup>。考虑到织物的组织结构,选用圆形结构元素对图像作开运算,其顶帽变换见式(1):

$$F_{Top} = F - F \oplus C \quad (1)$$

式中:  $F$  为原始图像;  $\oplus$  为开运算符;  $C$  为圆形结构元素;  $F_{Top}$  为顶帽变换后的图像。用式(1)对倾斜校正后的图像进行顶帽变换,结果如图 1(c) 所示。

### 2 子图像分割

Sobel 算子常用于图像的边缘检测,且具有方向性。Sobel 模板见图 2。

织物的组织结构为经纱和纬纱相互交织,因此,通过方向性 Sobel 边缘检测来提取织物图像的经纬

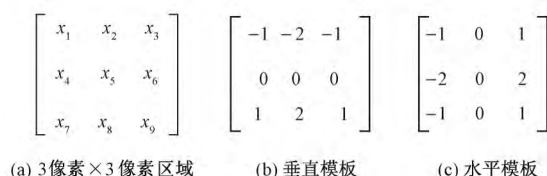


图 2 Sobel 模板

纱边缘信息。图 2(b)、(c) 分别为 Sobel 算子的垂直方向与水平方向模板,即利用差分来近似代替一阶偏微分,将模板与原始图像卷积,得到水平(垂直)方向上的梯度,而在织物不同颜色区域的临界位置,梯度幅值较大。设垂直方向卷积后的结果为  $V(x, y)$ ,水平方向卷积后的结果为  $H(x, y)$ ,计算公式为:

$$V(x, y) = |x_7 + 2x_8 + x_9 - (x_1 + 2x_2 + x_3)| \quad (2)$$

$$H(x, y) = |x_3 + 2x_6 + x_9 - (x_1 + 2x_4 + x_7)| \quad (3)$$

式(2)、(3)中  $x_1 \sim x_9$  为图像中  $3 \times 3$  大小像素块中的各个像素点。

通过 Sobel 边缘检测,提取出水平(垂直)方向的边缘图像,见图 3。将得到的彩色图像灰度化,见图 3(a)、(b),可以看出,色织物的不同颜色交界处的边缘信息非常明显,为快速准确地分割不同颜色区域,使用单方向的均值滤波平滑图像。选取水平方向的模板大小为 1 像素 × 20 像素,垂直方向的模板大小为 20 像素 × 1 像素,用固定大小邻域内的灰度平均值代替当前像素的灰度值,滤波结果如图 3(c)、(d) 所示。

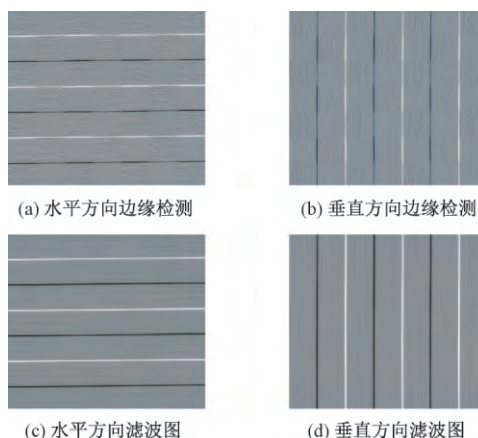


图 3 Sobel 边缘检测

通过单方向均值滤波之后,图像的不同颜色交界区域分为亮和暗 2 部分,通过双阈值分割得到分界线,根据图像的最大与最小灰度值能够确定分割所需的 2 个阈值,实现自动分割。由于阈值分割得到的分界线较宽,为了提高定位的精度以及准确性,将分界线细化,分别求取水平方向和垂直方向上的分界线区域的骨架,最终边界分割结果如图 4 所示。

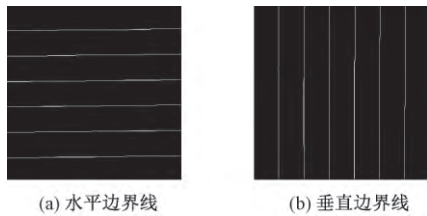


图4 边界线分割结果

### 3 密度检测

根据提取出的分界线将顶帽变换后的图像划分为若干个子图像,设定水平方向为纬纱方向,垂直方向为经纱方向,分割结果如图5所示。

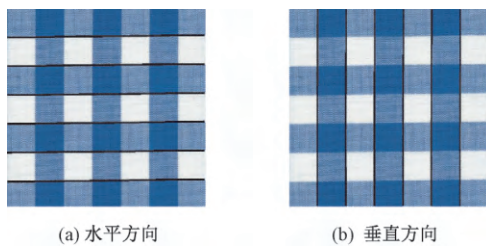


图5 分割结果图

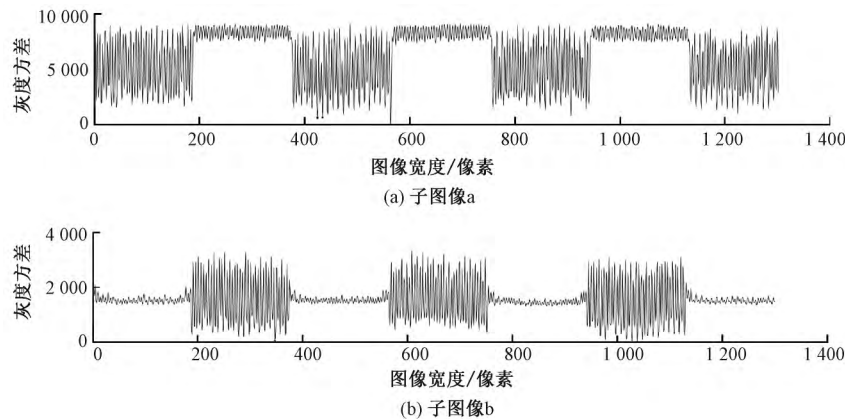


图6 水平方差投影曲线

目前方差投影法主要应用在人眼定位<sup>[11]</sup>以及车牌定位中<sup>[12]</sup>。由于纱线的交织以及颜色的差异,在纱线上和纱线间隙,灰度值都会有所波动,但是其波动程度完全不同。方差能够体现出数据的波动,通过分析织物图像灰度值方差投影数据,利用曲线的极值点就可以得到纱线与纱线间隙的临界位置,从而初步分割出纱线。

### 3.2 相关系数

相关系数反映2组数据之间的相关程度,分为正相关和负相关。相关性越强,相关系数绝对值越大,反之相关系数接近于0,取值范围为 $[-1, 1]$ 。图像的相关系数数学表达式见式(8):

$$C(a, b) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left( \frac{a_i - \mu_a}{\delta_a} \right) \left( \frac{b_i - \mu_b}{\delta_b} \right) \quad (8)$$

式中:  $a, b$  分别为相邻2行(列)的像素;  $N$  为每一行

### 3.1 方差投影

对于一幅色织物图像  $F$ , 设其高度为  $M$ , 宽度为  $N$ 。每个像素点的灰度值为  $F(x, y)$ , 设  $VP$  为图像的垂直方向积分投影,  $HP$  为图像的水平方向积分投影。其积分投影见式(4)、(5):

$$VP(y) = \left( \sum_{x=1}^M F(x, y) \right) / M \quad (4)$$

$$HP(x) = \left( \sum_{y=1}^N F(x, y) \right) / N \quad (5)$$

设  $FCVP$  为图像的垂直方向方差投影,  $FCHP$  为图像的水平方向方差投影。其对应的方差投影见式(6)、(7):

$$FCVP(y) = \left( \sum_{x=1}^M (F(x, y) - VP(y))^2 \right) / M \quad (6)$$

$$FCHP(x) = \left( \sum_{y=1}^N (F(x, y) - HP(x))^2 \right) / N \quad (7)$$

以水平子图像为例,利用式(6)计算色织物不同子图像的垂直方差投影,并绘制方差投影曲线,如图6所示。

(列)的像素总数;  $\mu$  为灰度平均值;  $\delta$  为灰度值标准差;  $C$  为相关系数。

通过计算图像中某2行(列)像素之间的相关系数,能够反映出这2行(列)的相关程度。水平方向不同子图像相关系数曲线如图7所示。在色织物图像中,处于同一根纱线上的相邻2行(列)像素具有较强的相关性,而在纱线上和纱线间隙交界处的2行(列)像素相关性较小,因此,根据相关系数的大小能够判断出纱线与纱线间隙的临界位置,初步实现纱线定位。

### 3.3 经纬纱定位

通过方差投影曲线和相关系数曲线的极值点,能够确定纱线与纱线间隙的临界位置。应用方差投影法,在纱线的色彩交界处会遗漏部分纱线,而利用相关系数法能够将其补充。相关系数法会导致纱线

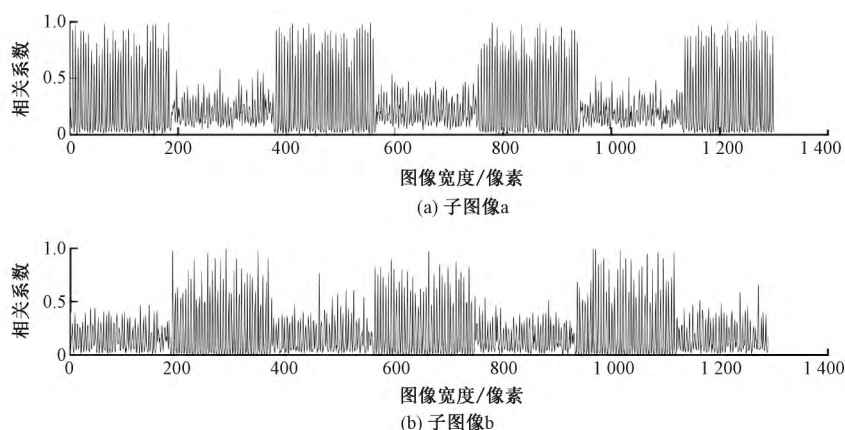


图 7 水平方向相关系数曲线

重复计数,结合方差投影数据能够消除重复计数。故将这 2 种方法的定位结果合并,分析方差投影以及相关系数数据,分别得到一组极小值数组,此数组中的每个元素都代表纱线在图像中的具体坐标,并设定最小像素间隔,避免同一根纱线的重复计数,最小像素间隔为纱线位置坐标之差的平均值,最终准确确定纱线位置。

其中一幅子图像的密度检测结果如图 8 所示。为了保证密度检测结果的准确性,统计每个子图像的方差投影与相关系数合并结果数据,并按照最小像素间隔值进行统计,最终得到整体图像的纱线位置数据,因每个位置数据代表 1 根纱的真实坐标,故数据的个数表示织物的密度。

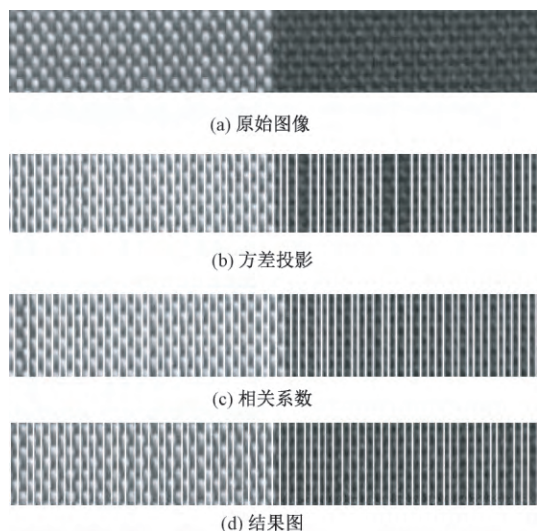


图 8 子图像检测结果

### 4 实验结果及分析

本文测试平台为 MATLAB R2015b, 织物样本成分均为涤纶,组织结构包括平纹、斜纹、缎纹 3 种。其部分测试样本如图 9 所示。

将本文算法与人工密度检测结果进行对比,结



图 9 测试样本

果如表 1 所示。误差率计算公式为:

$$\text{误差率} = \frac{|\text{人工检测值} - \text{本文算法值}|}{\text{人工检测值}} \times 100\% \tag{9}$$

式中人工检测结果是利用织物密度镜进行密度测量,并计算 10 次测量结果的平均值。

实验结果表明,本文提出的方法对于双色织物和多色织物均具有较好的检测效果,且能够适应平纹、斜纹、缎纹 3 种不同的织物组织结构,平均误差率为 0.373%。对于样本 K 和 L,受张力的影响,造成局部倾斜,使得检测结果误差较大。而 G、M 等简单色织物,检测准确率可以达到 100%。对 A、D、J 等多色织物,包含颜色种类较多,子图像的数目也较多,子图像数目越多,统计结果更精确,但是在运行速度上较慢,因此,对于此类色织物样本,需要构建积分图提升算法运行速度。

### 5 结束语

本文通过 Sobel 算子的方向性检测以及图像增强技术,根据颜色信息将色织物图像分成若干个子图像块,克服了大面积检测存在漏检的问题,简化了色织物的色彩复杂度。结合方差投影法与相关系数

表1 密度检测实验结果

样本编号	组织类型	经向密度/(根·(10 cm) <sup>-1</sup> )		经向密度误差率/%	纬向密度/(根·(10 cm) <sup>-1</sup> )		纬向密度误差率/%
		人工检测值	本文方法值		人工检测值	本文方法值	
A	平纹	522.9	522.9	0.00	457.6	450.6	0.53
B	平纹	411.4	408.3	0.15	297.1	299.6	0.24
C	平纹	293.6	291.0	0.29	194.7	195.2	0.25
D	平纹	370.8	370.5	0.08	311.6	310.6	0.32
E	平纹	457.9	455.7	0.48	342.8	342.7	0.03
F	斜纹	364.7	365.0	0.08	278.3	275.3	1.00
G	平纹	282.3	282.3	0.00	220.0	220.0	0.00
H	平纹	491.7	495.3	0.73	290.0	290.0	0.00
I	缎纹	461.5	461.5	0.00	230.7	230.5	0.08
J	平纹	478.6	480.6	0.41	366.7	366.5	0.05
K	平纹	321.4	319.6	0.56	293.3	285.5	2.65
L	平纹	236.3	240.5	1.77	205.4	206.8	0.68
M	平纹	475.0	475.0	0.00	360.0	360.0	0.00
N	平纹	306.7	306.8	0.03	281.2	280.2	0.36
O	斜纹	325.0	322.5	0.26	280.5	280.0	0.17

法各自的优势实现纱线的准确定位,统计子图像纱线的位置数据准确计算出色织物密度。测试表明,本文提出的色织物密度检测方法具有较强的适应性和较高的准确率,能够应用于不同紧度的色织物。在以后的研究中,将进一步在更复杂的色织物上测试本文算法的适应能力并进行优化。

参考文献:

[1] PAN R,ZHANG J,LI Z,et al. Applying image analysis for automatic density measurement of high-tightness woven fabrics[J]. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2016, 24 2(116): 66-72.

[2] ZHANG J,PAN R,GAO W. Automatic inspection of density in yarn-dyed fabrics by utilizing fabric light transmittance and Fourier analysis[J]. *Applied Optics*, 2015, 54(4): 966-972.

[3] 潘如如,高卫东,李忠健,等. 基于傅里叶图像分析的机织物密度检测[J]. *中国科技论文*, 2015, 10(20): 2416-2421.

[4] 何峰,李立轻,徐建明. 基于自适应小波变换的织物密度测量[J]. *纺织学报*, 2007, 28(2): 32-35.

[5] 张江丰. 基于图像处理的机织物组织自动识别的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.

[6] ZHANG J,PAN R,GAO W,et al. Automatic inspection

of yarn-dyed fabric density by mathematical statistics of sub-images [J]. *The Journal of the Textile Institute*, 2015, 106(8): 823-834.

[7] KOFNOV O V,SUKHAREV P A,SHLYAKHTENDO P G. Method of determining the skewness of the weft thread in fabric [J]. *Journal of Optical Technology*, 2014, 81(2): 111-113.

[8] AITHAL P K,RAJESH G,ACHARYA D U,et al. A fast and novel skew estimation approach using radon transform [J]. *International Journal of Computer Information Systems and Industrial Management Applications*, 2013(5): 337-344.

[9] 卜佳仙,陈霞,汪军. 基于Radon变换的织物倾斜和纹理方向检测[J]. *纺织学报*, 2015, 36(12): 47-51.

[10] JING J,XU M,LI P. Automatic recognition of weave pattern and repeat for yarn-dyed fabric based on KFCM and IDMF[J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2015, 126(21): 2876-2883.

[11] ZHOU Z H,GENG X. Projection functions for eye detection [J]. *Pattern Recognition*, 2004, 37(5): 1049-1056.

[12] MA Y,CHI J,HU R,et al. A new algorithm for characters segmentation of license plate based on variance projection and mean filter [C]//*Cybernetics and Intelligent Systems (CIS)*, 2011 IEEE 5th International Conference on. IEEE: 2011: 132-135.