

# 基于频域分析的毛巾织物疵点检测

王竹毅, 赵晓军, 杨梦

(河北大学 电子信息工程学院, 河北 保定 071002)

**摘要:** 对毛巾织物的疵点检测进行了研究; 通过研究分析发现, 大部分毛巾织物的疵点主要集中在毛巾表面的毛圈特征上, 根据疵点和毛圈轮廓特点, 提出了基于频域分析的毛巾织物图像疵点检测算法; 首先, 在 Lab 颜色空间中提取织物图像的毛圈轮廓特征图, 其次, 对轮廓特征图像进行傅里叶变换获得其频谱能量分布结果, 最后, 沿着半径方向和角度方向分别进行能量谱的特征提取, 组成了毛巾图像疵点检测的主要特征向量; 在毛巾织物疵点检测实验中, 分别提取有疵点和无疵点的毛巾织物图像的频域特征向量, 采用支持向量机 (SVM) 对特征向量做分类识别; 通过 Matlab 仿真, 系统可以达到平均 95% 的毛巾织物疵点识别率, 实验结果说明该频域能量特征提取方法在对纯色毛巾织物的疵点检测上简单有效。

**关键词:** 毛巾织物; 傅里叶变换; 频谱能量分布; 疵点检测

## Defect Detection of Towel Fabric Based on Frequency Domain Analysis

Wang Zhuoyi, Zhao Xiaojun, Yang Meng

(College of Electronic and Information Engineering, Hebei University, Baoding 071002, China)

**Abstract:** The defect detection of towel fabrics was studied. Through research and analysis, it was found that most of the defects of towel fabrics are mainly concentrated on the characteristics of the towel surface. According to the relationship between the defect and the pile loop feature of the towel, the defect detection algorithm of towel fabric based on frequency domain analysis was proposed. First of all, the pile loop feature image of fabric image was extracted in Lab color space. Secondly, Fourier transform was applied to the pile loop feature image to obtain the spectrum energy distribution results. Finally, the feature extraction of energy spectrum was carried out along the radius direction and angle direction respectively, which constituted the main feature vector of towel image defect detection. In the experiment of towel fabric defect detection, the frequency domain feature vectors of towel fabric images with and without defects were extracted respectively, and the feature vectors were classified and recognized by support vector machine (SVM). The energy statistical characteristics of towel fabric image spectrum were used as feature vectors for defect detection. Support Vector Machine (SVM) was used as defect classification and recognition algorithm. Through MATLAB simulation, the system could achieve an average recognition rate of 95% of towel fabric defects. The experimental results showed that the frequency-domain energy feature extraction method was simple and effective in the detection of pure color towel fabric defects.

**Keywords:** towel fabrics; Fourier transform; spectrum energy distribution; defect detection

## 0 引言

在纺织品生产中, 如果人工进行织物疵点检测, 需要精力高度集中, 疵点检测反复、枯燥, 而人的精力有限, 长时间工作难免会有纰漏或者工作效率会下降, 导致检验过程中出现瓶颈。随着工业技术的发展, 将图像处理技术运用到织物疵点检测的设计中, 实现自动疵点检测为必然的发展趋势<sup>[1]</sup>。在疵点检测系统中, 可靠高效的特征提取算法设计尤为重要, 特征提取主要利用织物自身的结构特点及疵点特征等先验知识, 提取图像的特征, 主要算法有空域特征提取和变换域特征提取两大类方法<sup>[1-2]</sup>, 空域有基于灰度共生矩阵、建模和统计的方法<sup>[3-6]</sup>, 频域有傅里叶变换、小波变换和 Gabor 滤波等方法<sup>[7-12]</sup>, 从目前发表的论文看主要对机织布疵点检测较多, 对于毛巾疵点检测并未有

研究报告。而毛巾织物相比较机织布要复杂的多。

本文针对毛巾织物的疵点检测进行研究。毛巾织物的表面由一个个毛圈组成。毛巾织物疵点主要包括断经、断纬、露传、拉毛、稀路、毛圈不齐、毛边、卷边、齿边和缝边跳针等疵点。

毛巾织物柔软蓬松, 表面纹理易发生形变, 这严重影响了毛巾织物的疵点检测。通过研究分析发现, 大部分毛巾织物的疵点主要集中在毛巾表面的毛圈特征上。如果出现这些情况: 断经、断纬、露传、拉毛、稀路、毛圈不齐、毛边、卷边、齿边和缝边跳针等, 其对应的毛圈轮廓特征也会跟着发生变化。本文根据疵点和毛圈轮廓特征的关系进行疵点检测, 提出了基于频域分析的毛巾织物图像疵点检测算法。首先, 把图像从 RGB 颜色空间转换到 Lab 颜色模型空间, 由各个分量上的统计特性融合生成毛圈的轮廓特征图; 其次, 对轮廓特征图像进行傅里叶变换, 用极坐标  $B(r, \theta)$  表示, 其中  $B$  是图像的频谱函数,  $r$  和  $\theta$  是极坐标的半径和角度, 研究发现: 有疵点的和无疵点的毛巾图像的能量谱在不同半径范围和不同角度上有不同的统计分布特征, 论文分别沿着半径方向和角度方向进行能量谱的特征提取。在半径方向将

收稿日期: 2019-11-21; 修回日期: 2019-12-10。

基金项目: 河北省教育厅项目(16211824), 河北省教育厅项目(Z2014178)。

作者简介: 王竹毅(1976-), 女, 西安人, 硕士, 讲师, 主要从事数字图像处理方向的研究。

频域分割成低频区、中频区和高频区三部分, 计算每个区域的归一化能量特征; 在角度方向, 对进行等间隔切分, 计算各个扇形区域的归一化能量特征。这些归一化能量组成了毛巾图像疵点检测的主要特征, 最后结合 SVM 进行疵点识别, 有较高的疵点识别率。

### 1 毛巾织物疵点特征提取算法介绍

系统处理模块如图 1 所示, 主要由 RGB 颜色空间到 Lab 颜色空间的转换、毛圈轮廓特征检测、FFT 变换、频谱特征提取和 SVM 疵点判断共 5 部分组成。

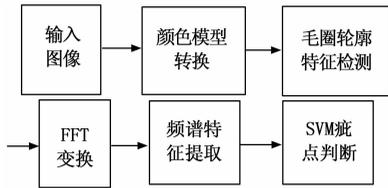


图 1 系统处理过程模块图

#### 1.1 傅里叶变换

在二维离散的情况下, 傅立叶变换对表示为:

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(xu/M + vy/N)} \quad (1)$$

式中,  $u=0, 1, 2, \dots, M-1$ ;  $v=0, 1, 2, \dots, N-1$ 。

$$f(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{j2\pi(xu/M + vy/N)} \quad (2)$$

式中,  $x=0, 1, 2, \dots, M-1$ ;  $y=0, 1, 2, \dots, N-1$ 。

傅里叶变换后的  $F(\mu, v)$  是复数, 它的频谱为  $|F(\mu, v)|$ , 由于毛圈灰度变化快, 在频域主要分布在高频部分, 基本图像信息分布在低频, 毛巾织物图像的频谱分布如图 2 所示。其中图 2 (b) 是毛巾织物的频谱图, 可以看出, 频谱中心的灰度值为最大, 代表图像的灰度均值, 灰度峰点只存在在中心的低频区域, 和传统的布匹机织物不同, 毛巾类织物没有明显的周期性纹理结构<sup>[13]</sup>, 所以不能直接通过峰值检测获得纹理特征。

把图像傅里叶变换的频谱用极坐标  $B(r, \theta)$  表示, 其中  $B$  是图像的频谱函数,  $r$  和  $\theta$  是极坐标的半径和角度, 对每一个  $\theta$  从原点出发沿半径方向的频谱能量分布  $B_\theta(r)$  和全局的方向频谱能量分布函数  $B(r)$  两者之间的关系由式 (3) 表示。对每一个  $r$  以原点为中心的圆的频谱能量分布  $B_r(\theta)$  和全局的半径频谱能量分布函数  $B(\theta)$  的关系由式 (4) 表示。 $B(r)$  和  $B(\theta)$  是一维函数, 是对图像的纹理谱能量的描述。图 2 (c) 和图 2 (d) 分别是图 2 (a) 的  $B(r)$  和  $B(\theta)$  分布函数, 观察  $B(r)$  曲线, 除了直流分量在起始位置有一个峰值, 另外在  $r=2$  时有一个最大值, 在  $r=7$  时有一个较小的峰值,  $B(\theta)$  曲线在原点、 $180^\circ$ 、 $90^\circ$  和  $57^\circ$  附近有较强的能量, 其出现较大值对应  $\theta$  或  $r$  就是图像在空间上的某种纹理周期, 基于频域分析的毛巾织物疵点检测就是在  $B(r)$  和  $B(\theta)$  能量函数分布特点上进行研究。

$$B(r) = \sum_{\theta=0}^{\pi} B_\theta(r) \quad (3)$$

式中,  $B_\theta(r)$  表示对每一个  $\theta$  计算其从原点出发沿半径方

向的频谱能量分布函数;  $B(r)$  为全局的方向频谱能量分布函数。

$$B(\theta) = \sum_{r=0}^R B_r(\theta) \quad (4)$$

式中,  $B_r(\theta)$  表示对每一个  $r$  以原点为中心的圆的频谱能量分布函数;  $B(\theta)$  表示全局的半径频谱能量分布函数;  $R$  表示原点在中心的圆的最大半径。

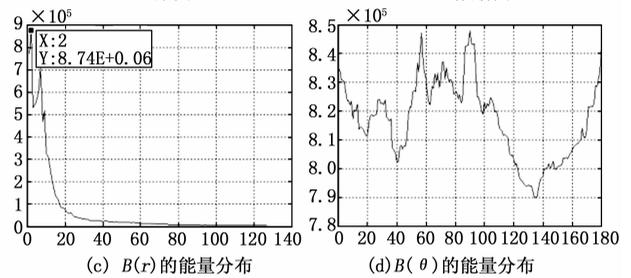
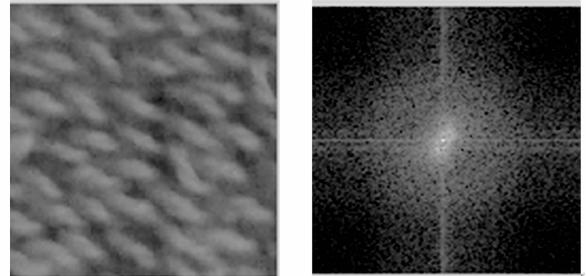


图 2 图像的频谱分析

#### 1.2 毛圈轮廓特征检测

毛巾织物疵点特征提取算法总的流程如图 3 所示。

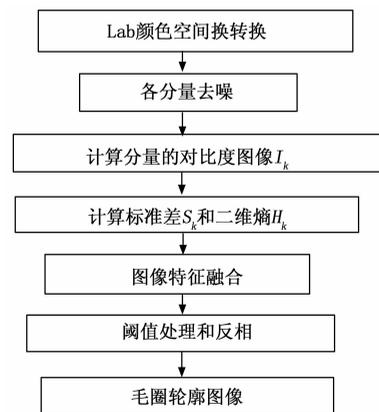


图 3 毛巾织物疵点特征提取算法流程

根据毛巾织物的疵点特征主要集中在毛圈特征上, 可以通过提取毛巾织物图像中毛圈轮廓信息, 为毛巾织物疵点检测提供有效信息特征。

本文是基于 Lab 颜色空间的毛圈特征检测方法。RGB 转为 Lab 之后, 为了消除噪声的干扰, 分别对亮度  $L$ , 色度  $a$  和色度  $b$  采用高斯滤波器进行平滑预处理, 滤波器窗口的选择对图像的特征提取有一定的影响, 本文采用  $5 \times 5$  的高斯窗口, 如式 (5) 所示:

$$C_k = M_k \otimes g(k = L, a, b) \quad (5)$$

式中,  $C_k$  ( $k=L, a, b$ ) 为滤波后的各分量;  $M_k$  ( $k=L, a, b$ ) 为 Lab 颜色空间的各个分量图像;  $g$  为高斯滤波器。

计算各个 Lab 分量的对比度图像  $I_k$  ( $i, j$ ) ( $k=L, a, b$ ), 由公式 (6) 计算得到:

$$I_k = |C_k - \mu_k| \quad (k=L, a, b) \quad (6)$$

式中,  $\mu_k$  ( $k=L, a, b$ ) 表示各个分量图像的均值。

在图像统计特性中, 熵反映了图像包含的信息量, 要提取的毛圈轮廓的灰度较单一, 携带的信息熵应该最小, 而轮廓明显的分量的灰度变化较剧烈, 根据分析可以得到: 毛圈轮廓信息具有标准差较大和熵较小的统计特点, 在进行图像融合时依照这个标准进行。

计算  $I_L, I_a$  和  $I_b$  的标准差  $S_k$  和二维熵  $H_k$ , 图像熵的计算公式如 (7) 所示:

$$H_k = - \sum_i p_k(i) \log p_k(i) \quad (k=L, a, b; i=0 \sim 255) \quad (7)$$

式中,  $i$  为像素的灰度值;  $p_k(i) = \frac{I_k}{m * n}$  为每个  $I_k$  ( $k=L, a, b$ ) 的灰度统计概率;  $H_k$  为每个  $I_k$  ( $k=L, a, b$ ) 图像的熵,  $m * n$  为图像的尺寸。

分别计算标准差最大时对应分量  $k_1$  和熵最小时对应的  $k_2$ , 按照式 (8) 进行特征融合。其中  $\omega_1$  和  $\omega_2$  是两个分量的权值。本文中  $\omega_1=0.6, \omega_2=0.4$ 。

$$I' = \omega_1 I_{k_1} + \omega_2 I_{k_2} \quad (8)$$

式中,  $I'$  表示最终的特征融合图像;  $\omega_1$  和  $\omega_2$  是两个权值。

对  $I'$  进行阈值化处理, 根据最大类间方差计算阈值  $T$ , 大于  $T$  的灰度保留, 小于  $T$  的输出为 0, 由于毛圈轮廓属于暗目标, 毛圈轮廓图是特征融合图像通过阈值处理和反相得到。图 4 (a) 是没有疵点的原图像, 图 4 (b) 是特征融合图像, 图 4 (c) 是特征融合图像的经过阈值处理和反相得到的毛圈轮廓图像。图 5 (a) 有疵点的原图像, 图 5 (b) 是特征融合图像, 图 5 (c) 是特征融合图像的经过阈值处理和反相得到的毛圈轮廓图像。

### 1.3 疵点检测特征提取

毛圈轮廓图像经过傅里叶变换, 其频谱用极坐标  $B(r, \theta)$  表示。首先, 针对有疵点图像和无疵点图像, 分析其各自的  $B(r)$  和  $B(\theta)$  谱能量函数分布特点, 分别对有疵点和无疵点图像进行毛圈轮廓特征提取。图 4 (d) 和图 5 (d) 是对应图像的毛圈特征图像的频谱图, 图 4 (e) 和图 5 (e) 是对应的  $B(r)$  分布, 图 4 (f) 和图 5 (f) 是对应的  $B(\theta)$  分布。图 4 (e) 和图 5 (e) 两者都在原点处具有最大峰值, 相较于图 5 (e), 图 4 (e) 有一个明显的次峰值。从图 4 (f) 可以看到正常毛圈轮廓的谱能量在  $\theta$  等于 70 度左右为最大, 图 5 (f) 的最大值在 180° 附近, 角度方向上的能量分布明显不同, 这是因为正常毛圈特征图像的频谱能量分布具有较强的方向性和周期性, 而有疵点的毛圈特征这种性质不明显, 这可以作为毛巾织物图像是否含有疵点的主要特征依据, 本文就是利用疵点图像和无疵点图像  $B(r)$  和  $B(\theta)$  具有不同的统计分布这个因素, 实现疵点检

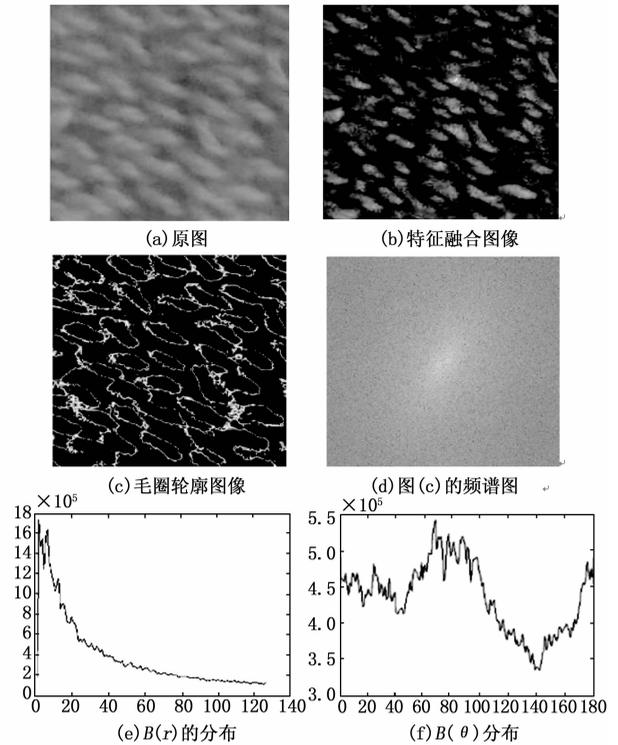


图 4 无疵点的毛巾织物图的特征图分析

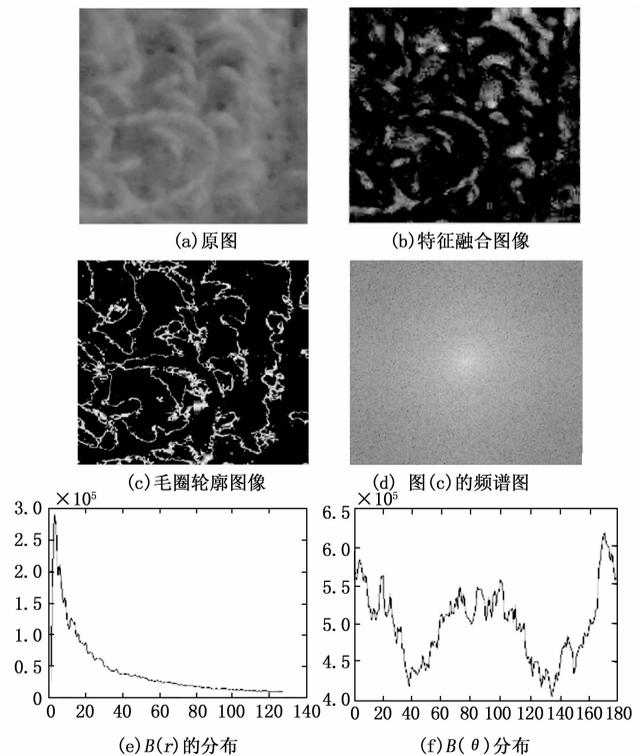


图 5 有疵点的毛巾织物图的特征图分析

测的特征提取。

为了提取准确的能量特征, 沿着半径方向将频域分割成低频区、中频区和高频区三部分, 如图 6 (a) 所示, 提取每个区域的归一化能量  $E_r$ , 同时, 为了提取图像的主能

量方向, 对  $\theta$  进行等间隔切分, 如图 6 (b) 所示, 分别计算各个扇形区域的归一化能量, 论文中切分的角度为 45 度, 提取的这些能量  $E_{\theta_i}$  组成疵点检测特征向量。在疵点分类识别中由  $\{E_r, E_{\theta}\}$  组成输入 SVM 分类器的特征向量。

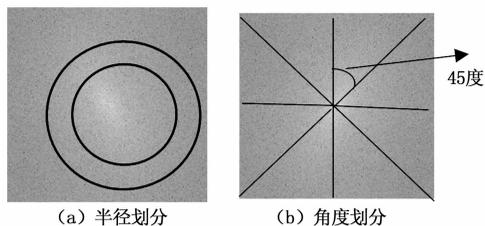


图 6 频谱的能量统计方式

## 2 仿真与实验结果

论文通过 Matlab 仿真实现毛巾织物的疵点检测。首先采集 100 幅毛巾疵点图像和 100 幅无疵点的毛巾图像, 图像大小为  $256 \times 256$ , 组成样本库。在研究中采用 50 个无疵点样本和 50 个有疵点的样本作为训练数据, 另外 100 个样本作为实验测试数据。按照图 1 的系统处理过程进行毛巾织物疵点检测。

疵点识别模块实现有无疵点的自动分类, 特征分类的算法有深度学习、SVM、神经网络等<sup>[6,15]</sup>, 本文特征分类由 matlab 中的 SVM 工具箱设计实现。训练时采用的径向基函数为高斯核函数, 其中参数 gamma、惩罚参数 C 对分类性能有很大的影响, gamma 值越小单个训练样本影响越大, 值越大单个训练样本影响越小, C 值越大, 分类越严格, 泛化能力降低, C 值越小, 意味着有更大的错误容忍度。本文结合经验与实践选取  $\text{gamma}=10$ , 惩罚参数  $C=5$ 。

输入 SVM 的特征向量主要由的  $[E_{r_1} E_{r_2} E_{r_3} E_{\theta_1} E_{\theta_2} E_{\theta_3} E_{\theta_4} \text{std}\theta]$  组成,  $E_{r_1}, E_{r_2}, E_{r_3}$  分别是频谱的低频能量、中频能量和高频能量,  $E_{\theta_1}, E_{\theta_2}, E_{\theta_3}, E_{\theta_4}$  为不同 4 个方向上的频谱能量,  $\text{std}\theta$  是这 4 个方向频谱能量的标准差。表 1 是其中 9 个无疵点样本的特征向量。表 2 是其中 9 个有疵点样本的特征向量。

表 1 无疵点样本特征向量示例

	$E_{r_1}$	$E_{r_2}$	$E_{r_3}$	$E_{\theta_1}$	$E_{\theta_2}$	$E_{\theta_3}$	$E_{\theta_4}$	$\text{std}\theta$
1	18.98	6.11	3.50	36.92	40.37	34.47	32.71	3.32
2	19.46	7.06	4.08	37.32	39.56	34.64	34.24	2.49
3	20.32	7.03	3.99	36.25	39.97	35.36	33.78	2.63
4	15.90	4.50	2.35	41.21	41.64	37.92	37.81	2.06
5	12.42	3.42	1.70	40.20	39.30	35.12	36.40	2.39
6	18.80	5.35	2.80	40.05	38.87	34.61	35.35	2.65
7	14.59	4.22	2.22	40.56	35.90	33.96	36.26	2.78
8	17.77	5.33	2.91	38.22	31.56	29.66	33.33	3.67
9	18.98	6.11	3.50	36.92	40.37	34.47	32.71	3.32

研究的仿真结果表明疵点样本的正确识别率为 98% 左右, 无疵点的样本正确识别率为 92% 左右, 平均的正确识别率为 95%, 达到系统的设计要求。

表 2 有疵点样本特征向量示例

	$E_{r_1}$	$E_{r_2}$	$E_{r_3}$	$E_{\theta_1}$	$E_{\theta_2}$	$E_{\theta_3}$	$E_{\theta_4}$	$\text{std}\theta$
1	14.51	3.79	1.90	38.04	38.30	35.39	37.60	1.33
2	13.64	3.63	1.79	36.71	36.69	35.34	36.88	0.72
3	14.21	3.85	1.99	36.80	37.01	38.06	36.98	0.57
4	11.03	2.78	1.39	34.81	37.20	34.62	33.77	1.47
5	13.61	3.29	1.62	40.18	38.99	37.39	39.38	1.17
6	15.35	4.11	2.13	39.33	38.19	36.16	37.91	1.31
7	12.99	2.94	1.38	41.70	40.66	38.08	39.83	1.53
8	12.85	3.20	1.61	39.50	40.24	38.77	36.86	1.45
9	13.04	3.35	1.74	37.87	35.83	35.18	37.06	1.21

## 3 结束语

本文研究了毛巾织物疵点检测方法, 分析了毛巾织物图像的毛圈特点, 通过对毛巾织物图像的处理, 研究其在频域上的特点, 提出了基于频域分析的毛巾织物图像疵点检测算法, 以毛巾织物图像频谱的能量统计特性作为疵点检测的特征向量, 采用了支持向量机作为疵点分类识别算法, 通过 Matlab 仿真, 该方法可以达到平均 95% 的织物疵点识别率, 说明该算法可以实现毛巾织物疵点检测, 该频域能量特征提取方法简单有效。下一步的工作: 1) 毛圈类的图像在频域有较明显的能量分布方向, 本文的研究只是在频域方向切分角度为 45° 的前提下进行, 需要根据图像的特点研究频域方向切分角度原则; 2) 本文主要研究纯色的毛巾图像, 如果对有图案的毛巾图像进行特征提取, 需要首先进行颜色分割和拼接处理, 下一步工作需要研究不同的图案的毛巾织物图像的疵点检测。

### 参考文献:

- [1] Zhang Y F, Bresee R R. Fabric defect detection and classification using image analysis [J]. Textile Research Journal, 1995, 65 (1): 1-9.
- [2] 李立轻, 黄秀宝. 图像处理用于织物疵点自动检测的研究进展 [J]. 东华大学学报 (自然科学版), 2002 (4): 118-122.
- [3] Yapi D, Allili M S, Baaziz N. Automatic fabric defect detection using learning-based local textural distributions in the contourlet domain [J]. IEEE Transactions on Automation Science & Engineering, 2017 (99): 1-13.
- [4] 赵树志, 狄 岚, 何锐波. 基于改进判别性完整局部二值模式与格分割的织物瑕疵检测方法 [J]. 纺织学报, 2018, 39 (9): 57-64.
- [5] 吴 哲, 刘孝星, 郑力新, 等. 基于灰度共生矩阵特征图像的织物疵点检测方法 [J]. 微型机与应用, 2015, 34 (21): 47-49.
- [6] 万 东, 孙志刚, 肖 力. 基于 CUDA 计算 GLCM 特征值和 SVM 的织布疵点检测 [J]. 计算机与数字工程, 2018, 46 (4): 828-832.
- [7] 汤晓庆, 黄开兴, 秦元庆, 等. 基于 Gabor 滤波器和 HOG 特征的织物疵点检测 [J]. 计算机测量与控制, 2018, 26 (9): 39-42, 47.
- [8] 朱丹丹, 潘如如, 高卫东. 基于傅里叶特征谱和相关系数的织物疵点检测 [J]. 计算机工程与应用, 2014, 50 (19): 182-186, 198.