

基于机器视觉的纱线质量检测系统设计

张缓缓*, 严凯**, 李鹏飞, 景军锋, 苏泽斌

西安工程大学电子信息学院, 陕西 西安 710048

摘要 为了解决纱线条干及毛羽的检测问题,设计了一种基于机器视觉的纱线质量检测系统。该系统主要包括硬件设计和软件检测算法。硬件主要包括图像采集单元、纱线牵引装置和系统控制装置。在软件系统中,利用机器视觉及图像处理方法,分别对纱线条干和纱线毛羽进行检测。利用双边滤波及 Otsu 阈值实现纱线条干的检测,利用 EM 算法及密度聚类实现纱线毛羽的检测。将检测结果以及处理后的纱线图像显示在搭建的人工交互界面上,实时显示纱线条干及毛羽的评价。实验结果表明,该系统的实时性及稳定性好,准确率高,具有一定的学术研究价值及应用推广价值。

关键词 机器视觉; 纱线毛羽; 纱线条干; 纱线检测

中图分类号 TP391.4

文献标识码 A

doi: 10.3788/LOP56.161504

Design of Yarn Quality Detection System Based on Machine Vision

Zhang Huanhuan*, Yan Kai**, Li Pengfei, Jing Junfeng, Su Zebin

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

Abstract To address the problems of yarn evenness and hairiness detection, a yarn quality detection system based on machine vision is designed. In addition to hardware, the system core includes a software detection algorithm. The hardware primarily includes an image acquisition unit, a yarn traction device, and a system control device. In terms of software, machine vision and image processing methods were used to detect yarn evenness and yarn hairiness, respectively. Bilateral filtering and Otsu threshold were used to detect the evenness of the yarn, and an EM algorithm and density clustering were used to detect yarn hairiness. The test results and the processed yarn images were displayed in a constructed artificial interaction interface, and the yarn evenness and hairiness were measured and displayed in real time. The experimental results demonstrate that the proposed system delivers effective real-time performance, stability, and high accuracy. In addition to practical applications, the proposed yarn quality detection system is also expected to contribute to academic research in this field.

Key words machine vision; yarn hairiness; yarn evenness; yarn detection

OCIS codes 150.0155; 110.2970; 100.5010; 120.1880

1 引言

在纱线质量检测中,纱线条干均匀度、纱线毛羽数量和长度是评定纱线质量好坏的重要指标,也是影响后期织物质量的关键因素^[1]。若纱线条干不均匀,就会在织物上会出现各种疵点;而毛羽较多,则会导致织物表面不清晰,严重影响后期的染色效果^[2]等。因此,纱线条干和毛羽的检测对提高纱线

质量具有重要意义。

目前,企业在检测纱线条干方面利用的是电容式条干仪^[3]。但该仪器对环境要求较高,且容易受温湿度的影响。在检测毛羽方面主要利用光电法和目测法。但光电法分辨率低,容易造成误差;目测法易受检测人员主观因素的影响,精确度较差。

近年来,计算机技术及图像处理技术迅速发展,越来越多地被用于纺织品外观检测,解决了传统方

收稿日期: 2019-03-12; 修回日期: 2019-03-18; 录用日期: 2019-03-27

基金项目: 陕西省高校科协青年人才托举计划(20180115)、陕西省教育厅科研计划(18JK0339)、西安工程大学研究生创新基金项目(chx2019018)、陕西高校青年创新团队

* E-mail: zhanghuanhuan0557@163.com; ** E-mail: 838063409@qq.com

法存在的不足。国内外众学者利用图像处理技术检测纱线条干^[4-6]及纱线毛羽^[7-8]。如在检测纱线条干方面, Ozkaya 等^[9]重点研究了运用图像处理方法检测纱线条干均匀性时, 光照条件对检测结果的影响。研究发现, 背光条件下的均匀度测量结果更准确, 检测得到的条干均匀度变异系数(CV)值与 Uster 仪器的测量结果很相近, 但与理论值相比均偏小。在检测纱线毛羽方面, 孙银银等^[10-11]提出了毛羽跟踪算法, 该算法可以准确地计算出每根毛羽的长度, 并通过不断地扩大毛羽端点像素领域来搜寻断开毛羽, 但在扩大搜寻过程中可能搜寻到其他毛羽的端点, 从而引入了误差。

针对上述问题, 本文设计了一种基于机器视觉的纱线质量检测系统, 该系统特点如下: 1) 可同时检测纱线直径、纱线条干均匀度变异系数、纱线毛羽长度和毛羽指数等指标; 2) 实现了纱线质量的实时检测, 同时也可利用单幅检测功能查看某一片段的纱线质量; 3) 可检测棉、化纤以及两者混纺的纱线, 也可检测多种规格纱线。经验证, 本系统稳定性强, 具有较高的精确度, 能够实现纱线检测自动化和纱线条干及毛羽的检测指标评估, 具有一定的学术研究价值及应用推广价值。

2 系统总框架

系统总框架如图 1 所示, 主要分为硬件系统和软件系统。硬件系统获取纱线图像后通过千兆网线传输到计算机端, 利用高性能计算机及软件系统处理程序, 可以实现纱线条干及毛羽检测指标的评估。

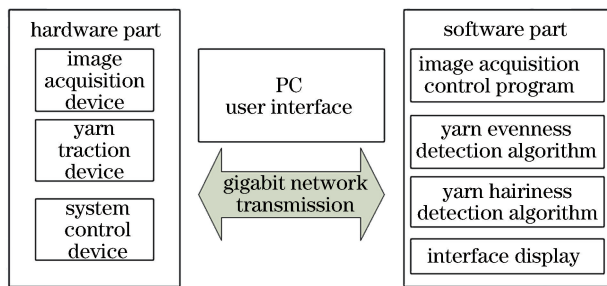


图 1 系统框架

Fig. 1 Framework of system

3 系统硬件结构

3.1 硬件结构

系统硬件结构主要包括图像采集装置、纱线牵引装置和控制装置。装置如图 2 所示。

3.2 图像采集装置

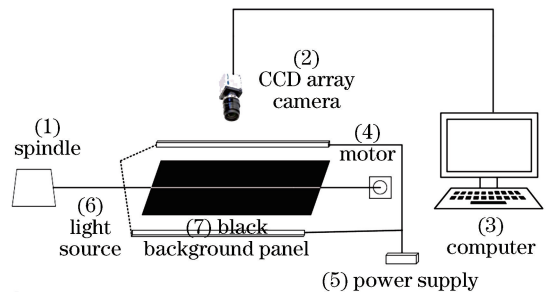


图 2 图像采集系统图

Fig. 2 Diagram of image acquisition system

图像采集装置包括 BASLER 公司的 Basler acA2500-14gc 面阵相机、镜头、LED 光源和黑色背景板。此外, 为了获取清晰的纱线图像, 需对相机参数进行设置。本系统中相机采集的纱线图像的分辨率为 $256 \text{ pixel} \times 256 \text{ pixel}$, 相机光圈为 4、曝光量为 3900, 相机采集帧率为 30 frame/s 。

3.3 纱线牵引装置和控制装置

纱线牵引装置主要由转速为 16 r/min 的大扭矩低速电机和支架组成。主要作用是牵引纱线匀速通过图像采集装置。控制装置为一台计算机, 配置为 Intel Core i5-4460 3.2 GHz CPU、8 GB 主内存、NVIDIA GeForce GT 705 显卡和 Windows 8.1 操作系统。其主要作用是通过千兆网线控制采集装置, 保存和处理采集的纱线图像。

3.4 工作原理

系统工作时, 纱线在低速电机的牵引下从两个 LED 光源之间、背景板上方 $2 \sim 4 \text{ mm}$ 处匀速通过。相机安装在纱线正上方, 相机采集到纱线图像后, 通过千兆网线传输到计算机中进行处理或保存。

4 系统软件设计

4.1 软件框架

本系统软件主要分为 3 部分: 1) 图像采集控制程序; 2) 纱线条干检测算法与纱线毛羽检测算法; 3) 人机交互界面。软件框图如图 3 所示。

4.2 图像采集控制

1) 参数设置程序。① 选择纱线图像的保存路径。② 输入纱线规格和纱线所含成分比例, 主要用于计算纱线理论直径、误差等指标。③ 设置检测时间, 用于控制相机工作时间及检测时长。

2) 相机控制。这部分主要利用了 Open CV 中的相机控制模块, 作用是打开相机和设置定时程序关闭相机。

3) 纱线图像保存。根据预先设置的检测时间,

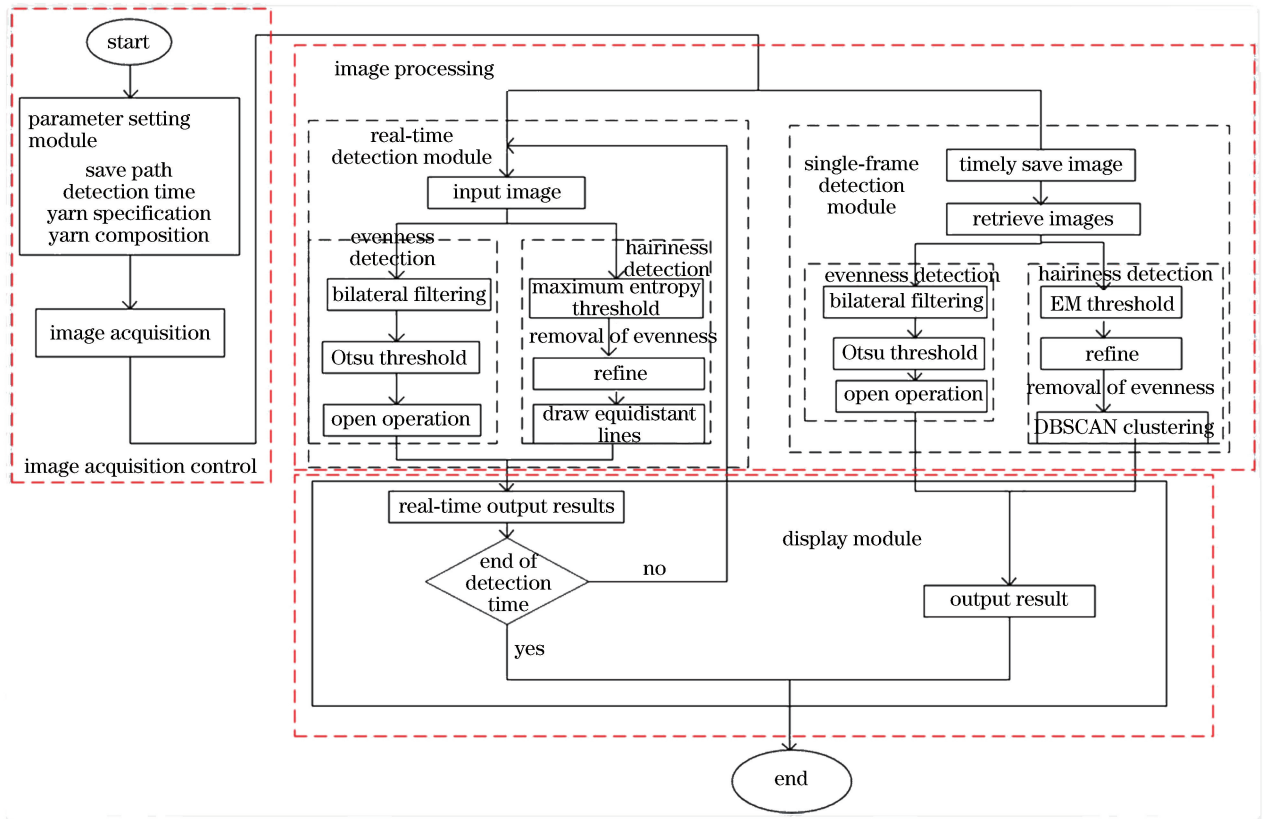


图3 软件框架图

Fig. 3 Software framework

计算出每张图像的保存时间,设置定时程序,保存纱线图像于选择的文件夹中,系统可定时保存数百张纱线图像。

4) 计算每个像素点代表的实际大小,用于计算直径和毛羽长度等指标。计算方法为:将 $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ 的标定板放置在与纱线水平的位置,利用相机采集标定板图像,通过实际长度与其所占像素数目计算出每个像素代表的实际长度。重复上述过程10次,取其平均值,该值即为每个像素代表的实际长度。

4.3 图像检测算法的实现

4.3.1 纱线条干检测

利用图像处理技术检测纱线的平均直径及条干均匀度,提取纱线条干。本研究利用双边滤波、Otsu 阈值和形态学开运算相结合的方法提取纱线条干。具体过程如下:

1) 将相机获取的 RGB 图像转换为单通道的灰度图像。

2) 对纱线灰度图像进行双边滤波处理。双边滤波在滤除噪声的同时可完整地保留纱线的边缘,且可增强纱线特征。

3) 滤波后利用 Otsu(大津阈值)分割法提取纱

线条干。从图 4(a)可以看出,纱线条干的像素值在纱线图像中相对较大,条干像素的灰度直方图分布如图 4(b)最右侧所示。要提取纱线条干,则计算的阈值需在图 4(b)中两个红点之间,阈值越接近条干像素值,就越能精确地提取出纱线条干,并减小毛羽的影响。由图 5 可以看出,与迭代阈值法相比,使用 Otsu 阈值处理纱线毛羽图像时,计算出的阈值与纱线条干的像素值接近,可完整地分割出纱线条干,而且大部分毛羽直接被去除掉。但分割后纱线条干周围仍存在很多斑点,这是由于图像中仍然有少量纱线毛羽的像素值与条干的像素值接近,在分割时会被标记为前景。

4) 利用形态学开运算处理细小斑点。开运算处理后纱线条干周围的斑点已被完全去除,纱线条干被完整地提取出来。

纱线图像经过上述 4 步处理后,纱线条干被完整地提取出来,此时可用于计算纱线的平均直径和条干均匀度。

纱线平均直径的计算方法为:提取出纱线条干后,计算纱线的平均直径。计算过程为从上往下、从左往右扫描图像,统计像素值为 255 的数目,用统计后的总数目除以该段纱线在图像中所占的像素数,

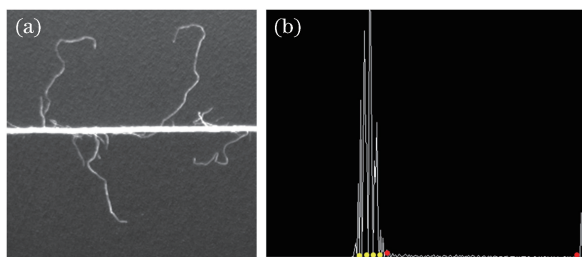


图4 纱线图像及灰度直方图。(a)纱线图像;
(b)纱线图像灰度直方图

Fig. 4 Yarn image and gray histogram. (a) Yarn image;
(b) gray histogram of yarn image

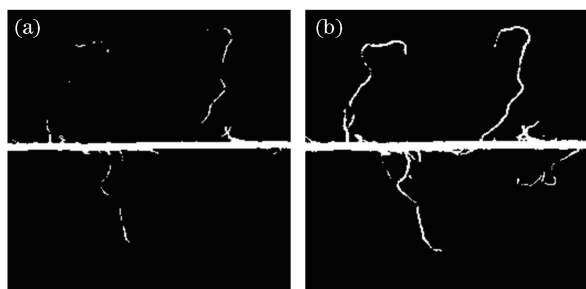


图5 阈值算法对比。(a) Otsu 阈值;(b)迭代阈值

Fig. 5 Comparison of threshold algorithms.
(a) Otsu threshold; (b) iteration threshold

然后用得到的结果乘以该图单个像素的长度,就可以得到纱线直径的平均值,即为纱线平均直径。

条干均匀度变异系数(CV)指纱线在长度方向的横截面均匀度。条干均匀度变异系数 R_{CV} 计算公式为

$$R_{CV} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_i^N (x_i - \bar{x})^2}}{\bar{x}} \times 100\%, \quad (1)$$

式中: x 为纱线在第 i 列的直径; \bar{x} 为测量的纱线平均直径; N 为所取纱线图像的总列数。

4.3.2 纱线毛羽检测

根据纱线毛羽特征,设计的检测毛羽的算法步骤如下:

1) EM 分割。从图 4(a)可以看出,纱线毛羽的亮度不一,毛羽像素值分布较分散。此外,从图 4(b)可以看出,像素分布构成多个波峰波谷(可近似认为由多个高斯分布构成)。如使用 Otsu 等其他阈值方法提取毛羽,则部分毛羽的像素值可能低于所取得阈值,从而造成毛羽断开,或所取阈值较低,小于部分背景像素值,造成较多噪声点。因此,针对该问题,本研究利用 EM 聚类算法分割纱线毛羽图像^[12-13]。EM 算法可将纱线图像中的像素根据高斯分布分为多个类别进行分类标记。标记后,根据实际情况提取出纱线毛羽。

2) 去除条干并细化。EM 分割后需去除纱线条干,首先对上文提取的条干进行膨胀,目的是消除纱线条干周围短小毛羽对毛羽统计造成的影响,然后用分割后的图像减去膨胀后的条干,提取出毛羽后进行细化处理。

3) 毛羽计数。根据时效性和精确性的要求,在实时检测毛羽部分时利用的方法是画等距线,先找出条干边缘,然后基于条干边缘每隔一定距离画一条线,最后统计线上的毛羽根数。利用具有噪声的基于密度的聚类方法(DBSCAN)进行单幅检测^[14],不但可直接统计出毛羽根数,还可直接计算出每根毛羽的具体长度。此外,该算法在毛羽小范围断开以及毛羽弯曲的情况下不受影响。因此,在不考虑毛羽交叉的情况下,提取的纱线毛羽呈离散分布,利用密度聚类可计算出根数及长度。

除了毛羽根数及长度外,毛羽的指标还有毛羽指数(1 cm 长度的纱线条干上毛羽长度的总和),其计算方法是统计细化后毛羽图像中像素点的个数,然后计算毛羽指数。

此外,本系统还检测了纱线毛羽 CV 值,计算公式与(1)式相同。但 x 为某纱线图像内毛羽的总长度, \bar{x} 为所检测的纱线图像毛羽的长度平均值, N 为所检测的纱线图像的总数量。

5 实验结果

5.1 软件界面

根据上述软件框架及算法,利用 VS2013 MFC 与 OpenCV 库设计了纱线检测系统界面。界面主要作用是实现人机交互,为用户提供简单、直接、方便的操作系统。界面主要包括参数设置模块、图像和检测结果显示模块。

1) 参数设置模块。在纱线检测之前,需要在此模块中设置保存路径、纱线规格等参数,用于程序中保存图像及计算指标等。

2) 图像和检测结果显示模块。此模块包括实时检测与单幅检测两部分。实时检测部分主要用于实时显示待检测纱线和所检测的纱线指标;单幅检测模块主要显示待检测纱线图像、提取的纱线条干图像、纱线毛羽图像和所检测的纱线指标。

5.2 纱线直径及 CV 值

本实验分别对 18.2 tex、14.5 tex 样品进行 5 次检测,其检测结果如表 1 和表 2 所示,其中 1 tex = 1 g/km。可以看出,测量直径与理论直径的相对误差保持在 3% 内。测量值与理论值很接近,充分证

明此方法可行。用电容式条干仪测得了两种样品的 CV 值,18.2 tex 和 14.5 tex 精梳纱线的 CV 值分别为 12.2%~14.5% 和 11.3%~13.8%。从表中也可以看出,利用本文所提算法计算出的纱线 CV 值在该范围内。实验结果证明,本系统准确率较高。

表 1 18.2 tex 纱线直径与 CV 值

Table 1 18.2 tex yarn diameter and CV value

Sample	Measured diameter /mm	Theoretical diameter /mm	Error /%	CV /%
1	0.1540	0.159	2.7	12.99
2	0.1559	0.159	2.0	13.80
3	0.1594	0.159	0.1	12.23
4	0.1623	0.159	1.9	13.45
5	0.1585	0.159	0.31	13.21
6	0.1606	0.159	1.0	12.95
7	0.1556	0.159	2.2	13.00

表 2 14.5 tex 纱线直径与 CV 值

Table 2 14.5 tex yarn diameter and CV value

Sample	Measured diameter /mm	Theoretical diameter /mm	Error /%	CV /%
1	0.1415	0.1413	0.14	13.13
2	0.1409	0.1413	0.25	11.47
3	0.1446	0.1413	2.3	13.40
4	0.1419	0.1413	0.48	12.59
5	0.1435	0.1413	1.56	12.87
6	0.1425	0.1413	0.85	13.21
7	0.1448	0.1413	2.5	13.06

5.3 纱线毛羽实验结果

本次实验中对 7 段纱线进行采样,每段纱线采集图像 40 张。图像分辨率为 256 pixel×256 pixel。系统计算出的像素点对应实际长度的关系为 1 pixel=0.024 mm,40 张纱线图像对应的长度为 24.576 cm。在不考虑毛羽交叉的情况下,检测结果如表 3 所示。

表 3 图像法检测结果

Table 3 Test results of image method

Sample	Number of hairiness					
	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	5 mm	6 mm
1	49	14	6	5	1	0
2	33	18	8	3	0	1
3	63	24	12	4	1	0
4	56	20	7	6	2	1
5	56	11	6	3	1	0
6	57	18	4	1	1	1
7	51	16	10	2	1	0
Average value	52.14	17.29	7.57	3.43	0.857	0.43
Hairiness index H	208.56	69.16	30.28	13.72	3.43	1.72

为凸显本系统算法的优势,将检测结果与目测法进行比较,结果如表 4 所示。可以看出,本文所用的算法能够精确地统计出纱线毛羽的根数。与目测法相比,本文提出的算法能够更精确地计算出毛羽长度。

表 4 图像法与目测法比较

Table 4 Comparison of image method and visual method

Hairiness length /mm	Number of hairiness		
	Graph method	Visual method	Error /%
1	52.14	50.43	3.28
2	17.29	16.86	2.48
3	7.57	7.28	3.98
4	3.43	3.61	4.98
5	0.86	0.86	0
6	0.43	0.43	0

6 结 论

针对目前企业检测纱线方法误差较大的缺点,设计了基于机器视觉的纱线质量检测系统。根据纱线的结构,设计了由图像采集单元、纱线牵引装置和系统控制装置组成的硬件系统。在检测软件部分,设计了图像采集控制程序、纱线条干检测算法、纱线毛羽检测算法和纱线指标计算程序,最后将这些算法和 VS2013、OpenCV 库相结合,设计了人机交互界面。多次实验测试结果表明,本系统的检测结果相对精确,误差较小且运行稳定,可以应用到纱线工业检测中。

参 考 文 献

- [1] Yao M. Textile material science [M]. 3rd ed. Beijing: China Textile & Apparel Press, 2009: 145-153.

- 姚穆. 纺织材料学[M]. 3版. 北京: 中国纺织出版社, 2009: 145-153.
- [2] Gao W D, Wang H B. An investigation on harmfulness of yarn hairiness[J]. Journal of Textile Research, 1998, 19(6): 347-348.
高卫东, 王鸿博. 纱线毛羽危害程度的探讨[J]. 纺织学报, 1998, 19(6): 347-348.
- [3] Qian Y Q, Qin Z Y, Yu H X. Development of special tool for metrological verification of evenness tester monitor [J]. Journal of Textile Research, 1991, 12(12): 544-546, 538.
钱云青, 秦曾荫, 俞海熊. 电容式条干仪检测器计量检定专用检具的研讨[J]. 纺织学报, 1991, 12(12): 544-546, 538.
- [4] Li B B, Li Z J, Pan R R, *et al.* Measurement of yarn evenness using sequence images [J]. Journal of Textile Research, 2016, 37(11): 26-31.
李变变, 李忠健, 潘如如, 等. 纱线条干均匀性序列图像测量方法[J]. 纺织学报, 2016, 37(11): 26-31.
- [5] Li Z J, Pan R R, Zhang J, *et al.* Measuring the unevenness of yarn apparent diameter from yarn sequence images [J]. Measurement Science and Technology, 2016, 27(1): 015404.
- [6] Jing J F, Zhang W W, Li P F. Yarn evenness detection based on saliency algorithm[J]. Journal of Textile Research, 2017, 38(6): 130-135.
景军锋, 张婉婉, 李鹏飞. 应用显著性算法的纱线条干均匀度检测[J]. 纺织学报, 2017, 38(6): 130-135.
- [7] Jing J F, Huang M Y, Li P F, *et al.* Automatic measurement of yarn hairiness based on the improved MRMR segmentation algorithm[J]. The Journal of the Textile Institute, 2018, 109(6): 740-749.
- [8] Wang X H, Wang J Y, Zhang J L, *et al.* Study on the detection of yarn hairiness morphology based on image processing technique [C] // 2010 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, July 11-14, 2010, Qingdao, China. New York: IEEE, 2010: 2332-2336.
- [9] Ozkaya Y A. Digital image processing and illumination techniques for yarn characterization [J]. Journal of Electronic Imaging, 2005, 14(2): 023001.
- [10] Sun Y Y. Yarn hairiness detection and analysis based on image technology [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017: 71-89.
孙银银. 基于图像技术的纱线毛羽检测与分析[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 71-89.
- [11] Sun Y Y, Li Z J, Pan R R, *et al.* Measurement of long yarn hair based on hairiness segmentation and hairiness tracking [J]. The Journal of the Textile Institute, 2016, 108(7): 1271-1279.
- [12] Tatiraju S, Mehta A. Image segmentation using k -means clustering, EM and normalized cuts [Z/OL]. [2017-03-20]. <http://www.dca.fee.unicamp.br/~leopini/DISCIPLINAS/IA369T-22014/Seminarios-entregues/Grupos-BigData/BigData-Gr-LuisPattam-papardeapoio-3.pdf>.
- [13] Zhao H J, Qu L, Cheng X. Iterative restoration algorithm based on expectation maximization (EM) for hyperspectral image [J]. Acta Optica Sinica, 2009, 29(8): 2164-2168.
赵慧洁, 曲磊, 程宣. 基于期望值最大化的高光谱图像迭代复原算法[J]. 光学学报, 2009, 29(8): 2164-2168.
- [14] Rodriguez A, Laio A. Clustering by fast search and find of density peaks [J]. Science, 2014, 344(6191): 1492-1496.