

# 融合空间模糊 C-均值聚类的纱线疵点检测算法

赵妍\*, 张缓缓, 景军锋, 李鹏飞

西安工程大学电子信息学院, 陕西 西安 710048

**摘要** 为了精确评价纱线疵点的种类与个数, 提出了一种融合空间模糊 C-均值(FCM)聚类的纱线疵点检测算法。首先利用融合空间 FCM 聚类算法提取纱线条干; 然后对纱线条干进行形态学开运算处理, 以获取精确的纱线条干, 并利用条干上下边缘点之间的像素个数计算纱线的直径与平均直径; 最后根据纱线疵点标准判定纱线疵点的种类与个数。为了验证本算法的有效性和准确性, 对多种不同线密度的纯棉纱线进行测试, 并将测试结果与电容性纱疵分级仪的检测结果进行对比。结果表明, 本算法与电容性的检测结果一致性较好, 且价格低廉, 不易受环境温度、湿度等因素的影响。

**关键词** 图像处理; 模糊 C-均值聚类算法; 纱线条干; 形态学开运算; 纱线疵点

中图分类号 TP391.4

文献标志码 A

doi: 10.3788/LOP202158.0410014

## Yarn Defects Detection Algorithm Combined with Spatial Fuzzy C-Means Clustering

Zhao Yan\*, Zhang Huanhuan, Jing Junfeng, Li Pengfei

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

**Abstract** In order to accurately evaluate the types and number of yarn defects, an algorithm of yarn defects detection based on spatial fuzzy C-means (FCM) clustering is proposed in this paper. First, the spatial FCM clustering algorithm is used to extract the yarn strips. Then, morphological opening operation is performed on the yarn strips to obtain accurate yarn strips, and the number of pixels between the upper and lower edges of the yarn is used to calculate the measured diameter and average diameter of the yarn. Finally, the type and number of yarn defects are determined according to the standard of yarn defects. In order to verify the validity and accuracy of the algorithm, a variety of pure cotton yarns with different linear densities are tested, and experimental results are compared with the capacitive yarn defects classifier. The results show that the algorithm is in good agreement with the result of capacitance detection, and it is cheap and not easy to be affected by environmental temperature, humidity and other factors.

**Key words** image processing; fuzzy C-means clustering algorithm; yarn strips; morphological opening operation; yarn defects

**OCIS codes** 100.2000; 110.2970

## 1 引言

纱线疵点直接决定了后期机织及针织物的质量, 疵点的种类与个数是评价纱线质量的重要指标, 对疵点进行检测和分析是控制和改善纱线质量的必

要条件<sup>[1-2]</sup>。纱线在生产过程中会因多种因素产生纱线疵点, 如纺纱原材料、纺纱器械、环境条件<sup>[3-4]</sup>。纱线疵点主要表现为纱线直径的突变, 直径过大会导致织物产生棉结、横竖条等缺陷, 直径过小会导致织物产生断经、断纬等缺陷, 因此对纱线疵点的检测

收稿日期: 2020-06-30; 修回日期: 2020-07-14; 录用日期: 2020-08-07

基金项目: 国家自然科学基金(61902302)、陕西省高校科协青年人才托举计划(20180115)

\*E-mail: 2210650907@qq.com

具有重要意义<sup>[5]</sup>。

目前针对纱线疵点的检测主要包括目测法<sup>[6]</sup>、电容检测法<sup>[7]</sup>和图像分析<sup>[8-9]</sup>等。目测法主要依赖人眼视觉进行评估,存在人为因素判别干扰大、准确率低、判别速度慢等问题。电容检测法易受到环境温度、湿度和纱线表面毛羽等因素的影响,目前应用最广泛的仪器主要是 USTER 公司生产的十万米纱疵仪,其检测速度为 600 m/min,价格比较昂贵,一台机器约 30 万元。图像分析法是利用基于机器视觉的方法对纱线外观质量进行评价,如 Sengupta 等<sup>[10]</sup>设计出的低成本纱线相关指标检测系统,虽然检测结果比较全面且投入成本低,但与 USTER 仪器的检测结果相差甚远。景军锋等<sup>[11]</sup>提出利用显著性算法检测纱线疵点,但其检测结果仅与目测法进行了对比,无法准确验证算法的有效性。周国庆等<sup>[12]</sup>基于线阵相机的算法检测纱线疵点,虽然能检测出纱线疵点的存在,但无法分辨纱线疵点的种类。李忠健<sup>[6]</sup>提出了基于时间序列的纱线疵点检测算法,能同时测量纱线疵点的种类和个数,但检测结果是电容性检测结果的两倍。袁汝旺等<sup>[13-14]</sup>提出了基于激光传感器的纱线疵点检测算法和基于线性阵列测量纱线直径的算法,但只能检测出纱线疵点的存

在,无法分辨纱线疵点的种类。

随着机器视觉技术的发展,机器视觉产品的应用场景越来越广泛,基于图像分析法检测纱线疵点可在提高检测精度的同时大幅降低工厂投入成本。因此,本文提出了一种融合空间模糊 C-均值(FCM)聚类的纱线疵点检测算法,在解决现有方法易受人为干扰、环境温度、湿度等因素影响的同时,为纱线疵点检测提供了一种新的图像处理算法。

## 2 纱线疵点

图 1 中的纱线疵点分为棉结、粗节和细节三种,其中,粗节定义为纱线直径大于 130% A 且小于 200% A (A 为平均直径),长度不小于 4 mm;细节定义为纱线直径小于 50% A 且长度不小于 4 mm;棉结定义为纱线直径大于 200% A 且长度为 1~4 mm。表 1 为三种纱线疵点的个例。

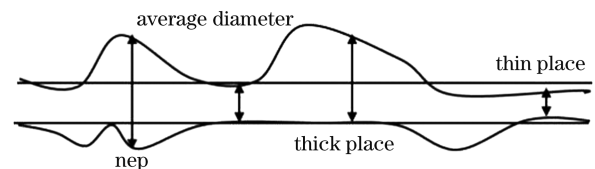


图 1 纱线疵点的种类

Fig. 1 Types of the yarn defects

表 1 纱线疵点个例

Table 1 Examples of the yarn defects

Type	Sample1	Sample2	Sample3
Nep			
Thick place			
Thin place			

为了提高纱线生产质量,提出了一种融合空间 FCM 聚类的纱线疵点检测算法,具体流程如图 2 所示。首先利用融合空间 FCM 聚类算法和形态学开

运算提取纱线条干,然后根据条干上下边缘点之间的像素个数计算纱线直径,最后对纱线疵点的种类和个数进行检测。

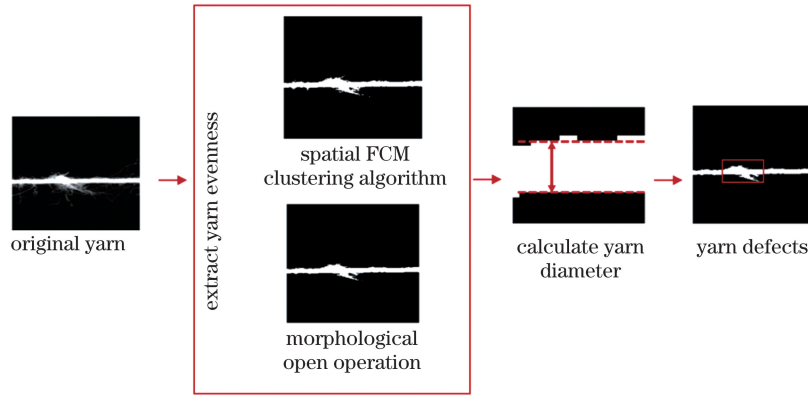


图 2 本算法检测纱线疵点的流程图

Fig. 2 Flow chart of our algorithm for detecting yarn defects

### 3 融合空间 FCM 聚类算法

检测纱线疵点过程中需要计算纱线的平均直径与测量直径,因此需先提取纱线条干,对纱线条干进行检测。实验利用融合空间 FCM 聚类算法<sup>[15-16]</sup>对纱线图像进行处理,在 FCM 聚类算法的基础上融合了空间信息,可消除条干提取过程中毛羽、毛刺等噪声的影响。

FCM 聚类算法通过模糊隶属度将每个像素分配到不同的类别里,用  $\mathbf{X}=(x_1, x_2, \dots, x_N)$  表示一张图像,将  $N$  个像素分成  $c$  类,  $x_i$  为多光谱特征,该算法是一种迭代优化算法,目标函数的最小化可表示为

$$J = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^c u_{ij}^m \|x_j - v_i\|^2, \quad (1)$$

式中,  $u_{ij}$  为像素  $x_j$  在第  $i$  类中的隶属度,  $v_i$  为第  $i$  个聚类中心,  $\|\cdot\|$  为范数度量,参数  $m$  可控制产生分区的模糊性,实验取  $m=2$ 。

当像素接近聚类中心、隶属度较高或像素远离聚类中心、隶属度较低时目标函数最小。隶属函数表示像素属于特定类的概率,在 FCM 聚类算法中,这种概率取决于在特征域中像素和各个聚类中心的距离。隶属函数和聚类中心的更新可表示为

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left( \frac{\|x_j - v_i\|}{\|x_j - v_k\|} \right)^{2/(m-1)}}, \quad (2)$$

$$v_i = \frac{\sum_{j=1}^N u_{ij}^m x_j}{\sum_{j=1}^N u_{ij}^m}. \quad (3)$$

以每个聚类中心的初始假设开始,FCM 聚类算法收敛于  $v_i$  局部最小或目标函数中的一个鞍点。可通过对比隶属函数或聚类中心在两次连续迭代中

的变化确定目标函数是否收敛,若收敛则迭代结束,得到最优聚类,从而获取精确的纱线条干。

图像的一个重要特征是相邻像素高度相关,即相邻像素具有相似的特征值,且其属于同一类的概率很大,这种空间关系在聚类中非常重要,为了利用空间信息,将空间函数定义为

$$h_{ij} = \sum_{k \in B(x_j)} u_{ik}, \quad (4)$$

式中,  $B(x_j)$  为以像素  $x_j$  为中心的  $5 \times 5$  空间邻域,与隶属函数相似,空间函数  $h_{ij}$  为像素  $x_j$  属于第  $i$  类的概率。如果一个类的大部分邻域属于同一个类,则其像素空间函数就很大,此时将空间函数合并到隶属函数中,可表示为

$$u'_{ij} = \frac{u_{ij}^p h_{ij}^q}{\sum_{k=1}^c u_{kj}^p h_{kj}^q}, \quad (5)$$

式中,  $p$  和  $q$  分别为两个常数,可控制产生分区的模糊性。在同一区域中,空间函数只是增强了原始的隶属度,聚类结果保持不变。但对于一个噪声像素,该函数通过相邻像素的特征降低噪声类的权重。因此,可以很容易地纠正来自纱线毛羽的错误分类像素。参数  $p$  和  $q$  的空间 FCM 聚类可表示为  $s_{p,q}$ , 根据先验知识设置参数  $p, q$  的大小,得到的聚类结果如图 3 所示。可以发现,  $p, q$  分别为 0、2 时的聚类效果最佳。

空间隶属度函数计算步骤中的第一步与 FCM 聚类算法相同,第二步中,将每个像素的特征信息映射到空间域,并由此计算空间函数。利用空间函数进行迭代,当两次迭代的聚类中心差值小于 0.02 时,停止迭代,参数 0.02 是经过多次实验选取的值。收敛后,用去模糊化将每个像素分配给隶属度最大的类,经上述处理后,得到的结果如图 4 所示。

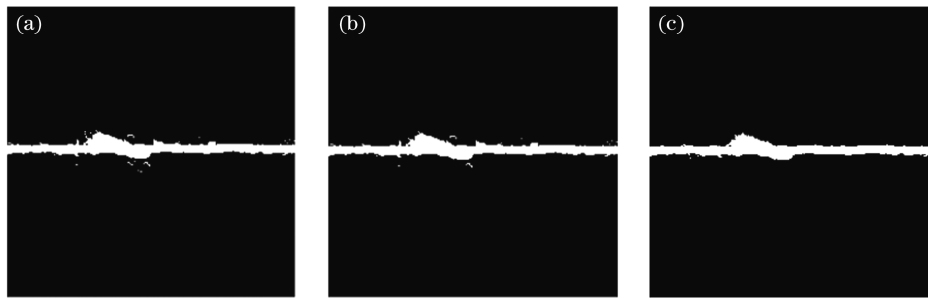


图 3 不同参数得到的处理结果。(a)  $p=1, q=0$ ; (b)  $p=1, q=1$ ; (c)  $p=0, q=2$

Fig. 3 Processing results obtained with different parameters. (a)  $p=1, q=0$ ; (b)  $p=1, q=1$ ; (c)  $p=0, q=2$

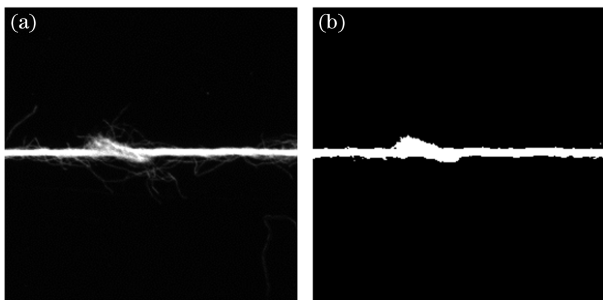


图 4 纱线图像的处理过程。(a) 原始纱线; (b) 聚类算法的处理结果

Fig. 4 Process of yarn image processing. (a) Original yarn; (b) processing result of clustering algorithm

形态学开运算是先腐蚀后膨胀的过程,可在保证不改变纱线条干信息的情况下消除纱线周围细小的毛刺等噪声。实验选取大小为  $7 \times 7$  的圆盘对融合空间 FCM 聚类算法处理后的纱线图像进行形态学开运算处理,以获取更精确的纱线条干。圆盘选取过大会导致纱线条干过细,圆盘过小会导致条干过粗,处理结果如图 5 所示。



图 5 形态学开运算的处理结果

Fig. 5 Processing result of the morphological open operation

根据提取的纱线条干,计算纱线测量直径与平均直径,以便检测纱线疵点的种类并设置纱线疵点的检测阈值  $T$ 。测量直径即条干上下边缘点

之间的像素个数乘以像素大小,其像素大小为  $0.02959 \text{ mm}$ ,纱线平均直径即测量直径和的平均值。对  $27.8, 18.2, 14.5 \text{ tex}$  三种规格的纱线进行检测,每组 1320 张纱线图像。检测结果如表 2 所示,可以发现,检测结果与理论直径接近,为纱线疵点检测提供了准确的数据。纱线的理论直径可表示为

$$d = 0.03568 \sqrt{N_t / \delta}, \quad (6)$$

式中,  $N_t$  为纱线的线密度 (tex),  $\delta$  为纱线的密度 ( $\text{g/cm}^3$ ), 实验取  $\delta = 0.9$ , ( $0.8 \leq \delta \leq 0.9$ )。

表 2 纱线的平均直径与理论直径

Table 2 Average diameter and theoretical diameter of the yarn

Linear density / tex	Theoretical diameter / mm	Detection of average diameter / mm
28.7	0.198	0.212
18.2	0.160	0.172
14.5	0.144	0.154

#### 4 纱线疵点的检测与结果分析

利用纱线疵点判定标准检测纱线疵点,以便进一步评价纱线质量。纱线疵点的检测流程如图 6 所示,首先输入纱线平均直径,然后设置纱线疵点检测的相关阈值,初始化纱线疵点三个种类的个数,并输入测量直径;再根据判定标准对纱线疵点进行计数,其中,  $e, f, g$  分别表示粗节、细节和棉结的个数;最后输出各个疵点的个数,获得纱线疵点的种类和个数。

表 3 为纱线图像经过融合空间 FCM 聚类算法获取的纱线疵点个例,标出部分为检测到的纱线疵点。其中,棉结部分会导致织物产生棉结,粗节和细节则会导致织物产生横竖条纹、断经断纬等,严重影响织物的质量。

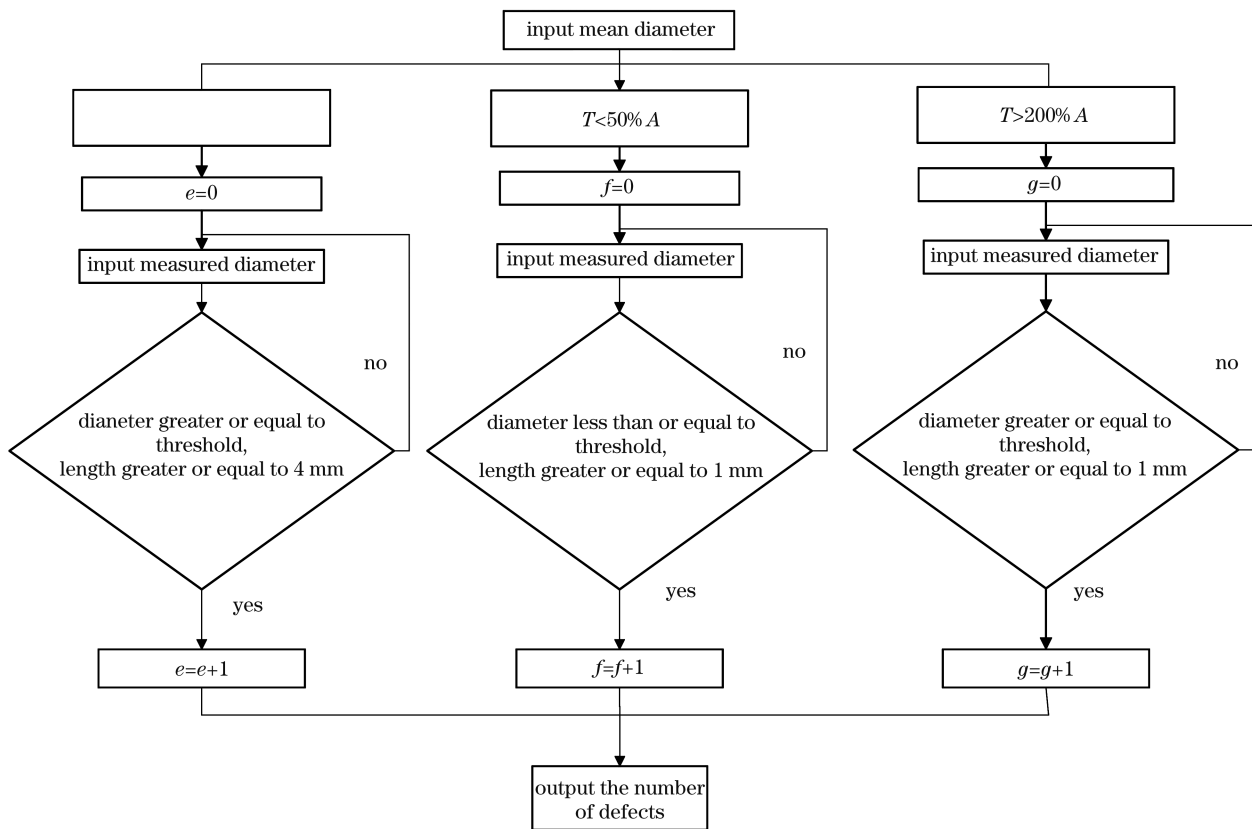


图 6 纱线疵点检测的流程图

Fig. 6 Flow chart of the yarn defects detection

表 3 本算法检测的纱线疵点

Table 3 Yarn defects detected by our algorithm

Type	Sample1	Sample2	Sample3
Nep			
Thick place			
Thin place			

表 4 为不同空间参数  $p, q$  与目测法的检测结果, 可以发现, 当  $p=1, q=0$  时, 棉结个数与目测法检测结果相近, 粗节个数相对减小, 细节个数相对增加; 当  $p=1, q=1$  时, 相比目测法的检测结

果, 本算法的棉结和粗节个数相对减少, 细节个数相近; 当  $p=0, q=2$  时, 棉结、粗节及细节与目测法检测结果相近, 因此, 选取参数  $p=0, q=2$  进行实验。

表 4 不同空间参数和目测法的纱线疵点检测结果

Table 4 Yarn defects detection results of different spatial parameters and visual inspection methods

Linear density /tex	Parameter	Nep	Thick place	Thin place
14.5	$p=1, q=0$	23	25	5
	$p=1, q=1$	21	24	4
	$p=0, q=2$	24	27	2
	visual inspection	23	26	2
18.2	$p=1, q=0$	23	23	5
	$p=1, q=1$	20	24	4
	$p=0, q=2$	23	25	3
	visual inspection	23	24	3
28.7	$p=1, q=0$	21	25	10
	$p=1, q=1$	20	25	11
	$p=0, q=2$	21	27	8
	visual inspection	20	26	6

将 14.5, 18.2, 28.7 tex 三种规格的纱线各分为两组进行实验, 纱线运行速度为 8 m/min, 每组用 1320 张图像进行实验, 每张图像的大小为 256 pixel $\times$ 256 pixel, 每个像素的大小为 0.02959 mm, 总长度约为 10 m。采样间隔为 0.0625 s。检测结果如表 5 所示, 其中, 电容性纱疵分级仪与本算法检测时的纱

线为同一批棉纱, 检测结果为每 10 m 检测到的纱线疵点种类与个数, 电容性检测结果为 5 次检测结果的平均值, 本算法的检测结果为 2 次检测结果的平均值。实验结果表明, 本算法与电容性检测结果的一致性较高, 这表明本算法得到的结果是准确的。

表 5 不同算法检测的纱线疵点结果

Table 5 Results of yarn defects detected by different algorithms

Linear density /tex	Algorithm	Nep	Thick place	Thin place
14.5	ours	24	27	2
	capacitive method	23	28	2
18.2	ours	23	25	3
	capacitive method	21	26	2
28.7	ours	21	27	8
	capacitive method	22	27	9

## 5 结 论

纱线疵点是评价纱线质量的重要指标之一, 提出了一种基于图像处理技术的纱线疵点检测算法, 可完成纱线疵点种类与个数的检测。首先利用融合空间 FCM 聚类算法和形态学开运算处理提取纱线条干, 再根据像素个数计算纱线的平均直径与测量直径, 最后根据纱线疵点检测标准检测纱线疵点的种类和个数。结果表明, 本算法与电容性测量结果的一致性较高, 且技术应用难度小、成本投入低。

## 参 考 文 献

- [1] Xie J X. System analyses and control of yarn defects [J]. Cotton Textile Technology, 2019, 47(7): 1-7. 谢家祥. 纱疵系统分析与控制 [J]. 棉纺织技术, 2019, 47(7): 1-7.
- [2] Zhang H H, Yan K, Li P F, et al. Design of yarn quality detection system based on machine vision [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2019, 56(16): 161504. 张缓缓, 严凯, 李鹏飞, 等. 基于机器视觉的纱线质量检测系统设计 [J]. 激光与光电子学进展, 2019, 56(16): 161504.

- [3] Carvalho V, Pinto J G, Monteiro J L, et al. Yarn parameterization based on mass analysis[J]. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2004, 115(2/3): 540-548.
- [4] Yang M, Ji H B, Gao X B. A new approach to yarn fault detection based on multi-sensor[J]. *Journal of Textile Research*, 2003, 24(4): 67-69, 5.  
杨敏, 姬红兵, 高新波. 基于多传感器的纱疵检测新技术[J]. *纺织学报*, 2003, 24(4): 67-69, 5.
- [5] Li G Z, Akankwasa N T, Zhao Q, et al. A novel system for yarn cross-section analysis based on dual orthogonal CCD sensors [J]. *Journal of Natural Fibers*, 2019, 16(1): 114-125.
- [6] Li Z J. Research on the measurement and visual evaluation of yarn evenness based on image technology[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.  
李忠健. 基于图像技术的纱线条干均匀度测量及直观评价方法研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
- [7] Carvalho V, Soares F O, Vasconcelos R M, et al. A comparative study between yarn diameter and yarn mass variation measurement systems using capacitive and optical sensors[J]. *Indian Journal of Fibre and Textile Research*, 2008, 33(2): 119-125.
- [8] Ishtiaque S M, Das A. A new approach of prediction of yarn diameter[J]. *Fibers and Polymers*, 2013, 14(5): 838-843.
- [9] Ibrahim S, Militky J, Kremenakova D, et al. Characterization of yarn diameter measured on different [C]//RMUTP international conference: textiles & fashion, July 3-4, 2012, Bangkok, Thailand. [S.l.: s.n.], 2012: 1-15.
- [10] Sengupta A, Roy S, Sengupta S. Development of a low cost yarn parameterisation unit by image processing[J]. *Measurement*, 2015, 59: 96-109.
- [11] 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.
- [12] Zhou G Q, Wu X, Yuan R W, et al. Algorithm of yarn core diameter extraction based on linear array CCD[J]. *Journal of Tianjin Polytechnic University*, 2016, 35(2): 35-39.  
周国庆, 吴锡, 袁汝旺, 等. 基于线阵 CCD 的纱线核直径提取算法[J]. *天津工业大学学报*, 2016, 35(2): 35-39.
- [13] Yuan R W, Jiang X M, Zhou G Q, et al. Measuring method of yarn diameter and hairiness based on linear array[J]. *Journal of Textile Research*, 2013, 34(8): 132-137.  
袁汝旺, 蒋秀明, 周国庆, 等. 基于线性阵列的纱线直径与毛羽测量方法[J]. *纺织学报*, 2013, 34(8): 132-137.
- [14] Yuan R W, Jiang X M, Yang G Y. Measuring method for appearance unevenness of fiber bundles [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2012, 39(7): 0708001.  
袁汝旺, 蒋秀明, 杨公源. 纤维束条干外观不匀的激光测量方法[J]. *中国激光*, 2012, 39(7): 0708001.
- [15] Zhao F, Jiao L C, Liu H Q. Kernel generalized fuzzy C-means clustering with spatial information for image segmentation[J]. *Digital Signal Processing*, 2013, 23(1): 184-199.
- [16] Jia H, Zheng C J, Li C B, et al. Retinal blood vessel segmentation based on fuzzy C-means clustering according to the local line structural constraints[J]. *Acta Optica Sinica*, 2020, 40(9): 0910001.  
贾洪, 郑楚君, 李灿标, 等. 基于局部线结构约束的 FCM 聚类视网膜血管分割[J]. *光学学报*, 2020, 40(9): 0910001.