

基于卷积滤波的纱筒定位检测算法

王宏鹏, 王俊茹, 汝欣, 史伟民

浙江理工大学机械工程学院, 浙江 杭州

收稿日期: 2023年3月10日; 录用日期: 2023年5月18日; 发布日期: 2023年5月25日

摘要

纱筒定位检测是自动换筒算法中的首要任务, 针对纱筒图像背景复杂、分割困难的问题, 本文提出一种基于卷积滤波的纱筒定位算法。首先对图像进行直方图均衡化, 增强区域特征, 再对传统扩散滤波模型进行优化, 抑制纹理等高频信息, 接着设计圆形卷积核对图像进行卷积滤波, 抑制图像背景, 最后对卷积图像进行Blob分析, 通过区域特征筛选得到内筒轮廓。在自主搭建的检测平台上使用本文方法进行实验, 实验结果证明纱线余量的检测精度在1.5%以内, 满足实际生产要求, 为纺织产业自动化生产提供一定的依据。

关键词

计算机视觉, 背景抑制, 各向异性扩散滤波, 卷积滤波

Yarn Bobbin Positioning Detection Algorithm Based on Convolution Filtering

Hongpeng Wang, Junru Wang, Xin Ru, Weimin Shi

School of Mechanical Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou Zhejiang

Received: Mar. 10th, 2023; accepted: May 18th, 2023; published: May 25th, 2023

Abstract

Yarn bobbin positioning detection is the primary task in the automatic replacement algorithm. Aiming at the problem of complex background and difficult segmentation of yarn bobbin image, this paper proposes a yarn bobbin positioning algorithm based on convolution filtering. Firstly, histogram equalization is performed on the image to enhance regional features. Then the traditional diffusion filtering model is optimized to suppress high-frequency information such as texture. Then a circular convolution kernel is designed to filter the image and suppress the image background. Finally, Blob analysis is performed on the convolution image, and the inner bobbin

contour is obtained by regional feature screening. Experiments are carried out using this method on the self-built detection platform. The experimental results show that the detection accuracy of yarn margin is within 1.5%, which meets the actual production requirements. It provides a certain basis for the automated production of the textile industry.

Keywords

Computer Vision, Background Suppression, Anisotropic Diffusion Filtering, Convolution Filtering

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

筒子纱作为纺织生产过程中重要的生产原材料，目前仍然采用人工巡检更换方式进行，这种方式用工成本高，不利于规模化生产。换筒机器人可以有效提高生产效率，开发换筒机器人的首要工作是设计纱筒定位算法，针对企业实际生产中纱筒架上的不同类型纱筒，本文开发了一种基于机器视觉的纱筒定位算法。

在纺织企业中，纱筒区域一般包含 20 到 30 排纱筒架，每排包括 5 组纱筒架，每个纱筒架按列分为 A、B 架，每个架子分为四层并且每层装有一个纱筒，即每排纱筒架装有 40 个纱筒如图 1(a)，每组纱筒架装有八个纱筒，且纱筒角度关于加强度对称，如图 1(b)所示。这种纱筒安装方法导致在自动检测中出现了几个需要解决的问题：1) 同一个纱筒架上的每个纱筒相对于相机的空间位置不同，最终导致其成像结果存在较大差异；2) 受实际生产情况的限制，打光光源只能采用单一方向上的光源，但每个纱筒存在轴方向上的旋转，因此难以取得较好的打光效果；3) 获取目标纱筒架上的纱筒图像时，会同时获取到后排多排纱筒架以及生产设备，对纱筒图像分割产生较大干扰。

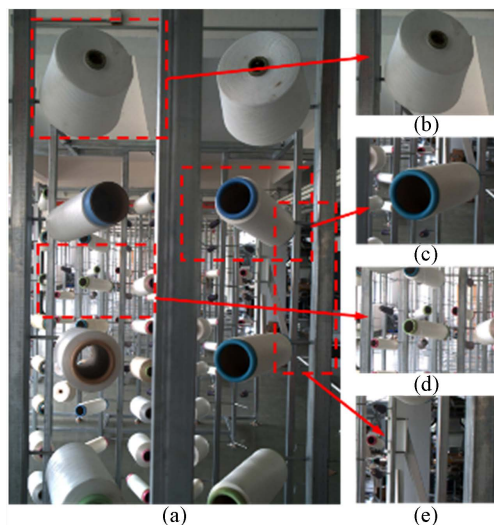


Figure 1. (a) Image of yarn bobbin; (b) Cone yarn bobbin; (c) Cylinder yarn bobbin; (d) Background yarn bobbin; (e) Background equipment

图 1. (a) 纱筒图像；(b) 圆锥形纱筒；(c) 圆柱形纱筒；(d) 背景区域后排纱筒；(e) 背景区域中的生产设备

图像获取系统获得的纱筒图像如图 1(a)所示,可以看到纱筒架上存在圆锥形纱筒(图 1(b))和圆柱形纱筒(图 1(c))两种类型纱筒,其中圆锥形纱筒内筒面积小,且其成像特征与后排纱筒内筒相近,在进行分割定位时背景区域中的纱筒(图 1(d))会对算法带来较大的干扰,此外在部分纱筒图像中还会存在生产设备等背景,这种背景区域成像特点随机且灰度特征与纱筒内筒相似,因此在对纱筒进行分割定位前需要设计滤波器对图像进行降噪,减少背景区域对定位算法的干扰。

常见的降噪算法包括:中值滤波[1][2][3]、高斯滤波[4][5]、非局域均值滤波[6]以及双边滤波[7]等。魏松涛和何文思[8]提出了一种结合梯度影响因子的均值滤波算法,将梯度信息加入到均值滤波的卷积核里,这样可以在滤波时尽量的保存区域边缘信息,对非边缘区域的像素进行较大程度的滤波。这样达到了减少图像整体噪声而且较好的保存了边缘信息的效果。刘保中和刘建宾[9]提出的改进型非局部均值图像降噪,通过采用噪声模型对图像整体灰度特性进行估计,再利用基于块匹配的滤波思想,能够在较大程度上保持各个像素块的信息,这对小型斑点噪声有着较好的效果,但是难以将各个像素块的特征信息强化并表达,且滤波后图像的整体复杂度并没有得到一定程度上的减小。Boughida 和 Boubekeur [10]提出基于图像像素样本直方图与协方差矩阵的贝叶斯协同降噪算法,通过对图像的三通道灰度直方图与协方差矩阵的计算得到全局贝叶斯滤波器,该方法对图像像素样本体量有较大依赖,对不同体量的像素样本滤波效果相差较大;花思齐等[11]提出了一种基于改进型 5×5 平均中值滤波的背景抑制算法,通过构建 5×5 的滤波核并设置邻域滤波计算以达到在保护图像边缘与细节信息同时提高算法检测的实时性。

为了解决上述问题与挑战,本文提出了一种改进型各向异性扩散滤波结合卷积滤波的纱筒定位检测算法。主要工作包括:搭建图像采集系统并进行相机标定;然后设计滤波器对图像进行滤波,增强纱筒区域特征的同时抑制纱筒背景和纱筒纱线纹理等高频噪声;最后根据纱筒成像特征设计圆形卷积核对图形进行卷积,对卷积图像进行 Blob 分析,通过特征筛选提取纱筒内筒轮廓,实现对纱筒内筒的定位。

2. 材料与方法

2.1. 图像采集系统

纺织企业中,每排纱筒架中间存在 1.2 M 左右的间隔,这使得自动换筒系统可以自由移动至每个纱筒架的正面,负责纱筒图像获取的工业相机安装在换筒机器臂的上方,如图 2(a)所示。系统相机选用海康威视 MV-CA050-10GM 搭配 8 mm 焦距镜头,得到分辨率为 3072×2048 的彩色纱筒图像如图 2(b)所示。



Figure 2. (a) Image acquisition system; (b) Image acquired
图 2. (a) 图像获取系统; (b) 获取到的图像

2.2. 滤波器设计

2.2.1. 直方图均衡化

直方图均衡化属于间接对比度增强算法，利用图像直方图对纱筒图像的对比度进行调整以达到增强图像的局部对比度的同时不影响整体图像的对比度。设纱筒图像在 (x,y) 处的灰度值为 f ，均衡化后的图像为 g ，则对图像的增强过程可以表述为将 (x,y) 处的灰度 f 映射为 g ，对于一幅纱筒图像其灰度级 f_k 出现的概率 P_r 为

$$P_r(f_k) = \frac{n_k}{n}, k = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (1)$$

其中， f_k 为第 k 级灰度； n_k 为图像中灰度级为 f_k 的像素个数； n 为像素总个数； L 为图像的灰度级数。

直方图变换函数为：

$$g_k = \sum P_r(f_i) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n}, k = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (2)$$

在对纱筒图像进行直方图均衡化过程中，先对纱筒图像的灰度情况进行统计并计算出原始直方图分布，然后根据计算出的累计直方图分布求出 f_k 与 g_k 的灰度映射关系，按照映射关系对纱筒图像的各个像素进行灰度转换即可完成对纱筒图像的直方图均衡化。

2.2.2. 优化扩散方程的八方向各向异性扩散滤波

由于纱筒是由纱线缠绕而成的，纱筒的正面以及筒身存在明显的纹理信息。直方图均衡化使得纱筒图像整体对比度增强，但是也增强了纱线的纹理特征。为了在保留纱筒正面边缘信息的同时抑制纱线带来的纹理噪声，选择各向异性扩散滤波(Perona-Malik Anisotropic Diffusion Filter, P-M Diffusion Equation)可以在降低图像噪声的同时保留、增强边缘信息。

各向异性扩散滤波中首先要考虑扩散函数，扩散函数体现扩散方程对图像区域的扩散力度，对滤波平滑程度有着重大影响。PM 扩散方程的理想滤波效果是平滑灰度梯度较小区域，保留图像边缘信息，因此扩散函数要对低灰度梯度区域扩散力度大，对高灰度梯度区域扩散力度小，常见扩散函数有式(3)、(4)，本文在此基础上对式(3)进行改进得到新扩散函数如式(5)，

$$c(s) = \frac{1}{1 + \left(\frac{s}{k}\right)^2} \quad (3)$$

$$c(s) = \exp\left[-\left(\frac{s}{k}\right)^2\right] \quad (4)$$

$$c(s) = \frac{e^2}{e^2 + \left(\frac{s}{k}\right)^2} \quad (5)$$

其中 k 为梯度阈值常量， e 为自然指数。三种扩散函数的曲线对比图如图3所示，可以看到新扩散函数相比于另外两个传统扩散函数收敛速度更快，对应扩散方程滤波时间更少、速度更快。

传统 PM 扩散方程是对像素点东南西北四个方向上的像素点进行散度计算，为了更好地保留边缘细节信息，本文增加东北、东南、西北、西南四个方向上的散度计算，八方向散度计算示意图如图4所示。

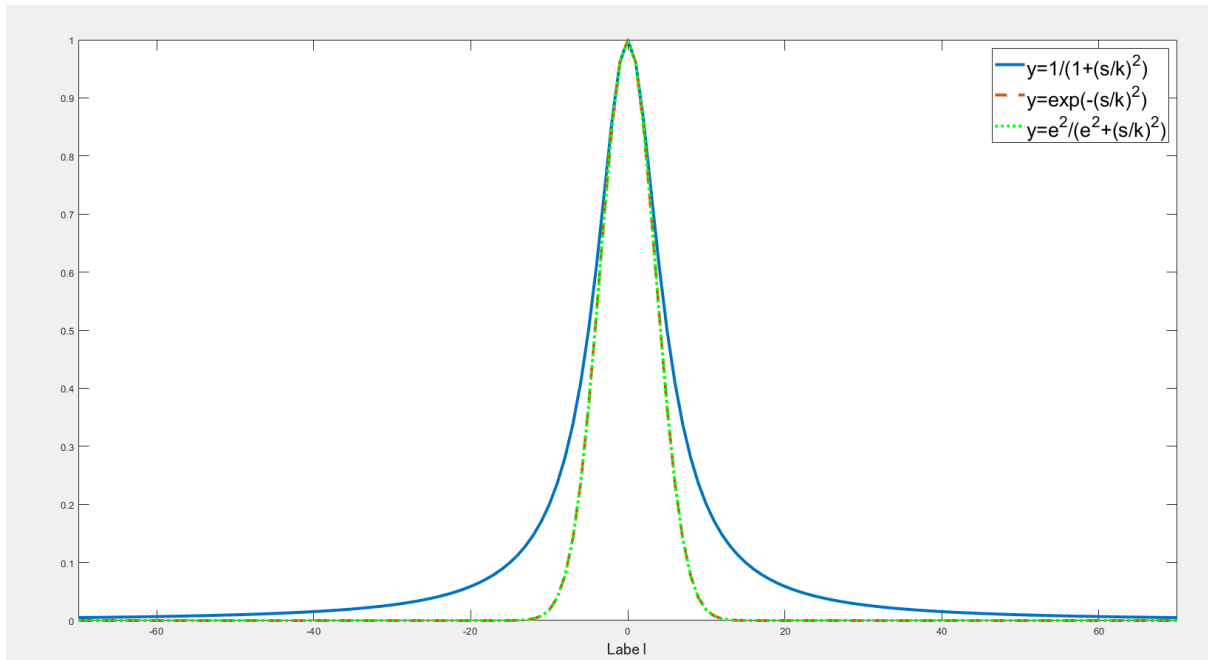


Figure 3. Graphs of diffusion function
图 3. 扩散函数曲线图

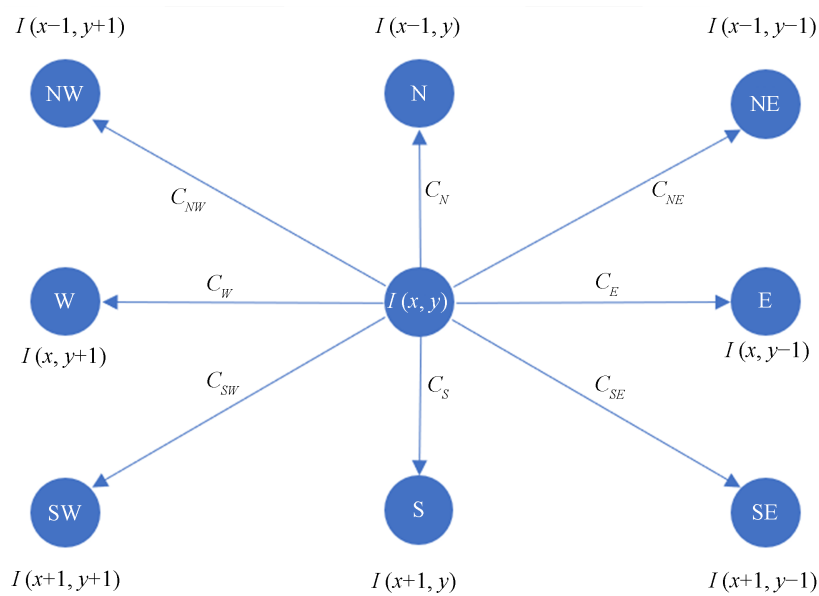


Figure 4. Schematic diagram of the eight-way dispersion calculation
图 4. 八方向散度计算示意图

图像 I 中像素点 $I(x,y)$ 的八方向散度计算公式如下:

$$\begin{cases} \nabla_N I_{x,y}^t = I_{x-1,y} - I_{x,y} & \nabla_{NE} I_{x,y}^t = I_{x-1,y-1} - I_{x,y} \\ \nabla_S I_{x,y}^t = I_{x+1,y} - I_{x,y} & \nabla_{SE} I_{x,y}^t = I_{x+1,y-1} - I_{x,y} \\ \nabla_E I_{x,y}^t = I_{x,y-1} - I_{x,y} & \nabla_{SW} I_{x,y}^t = I_{x+1,y+1} - I_{x,y} \\ \nabla_W I_{x,y}^t = I_{x,y+1} - I_{x,y} & \nabla_{NW} I_{x,y}^t = I_{x-1,y+1} - I_{x,y} \end{cases} \quad (6)$$

对于图像 I 在离散条件下的迭代模型如下：

$$I_{t+1}(i, j) = I_t(i, j) + \frac{1}{D} \sum_{d=1}^D [c_t^d(i, j) \cdot \nabla I_t^d(i, j)] \quad (7)$$

2.2.3. 基于圆形卷积滤波的纱筒内筒定位算法

纱筒图像背景复杂，直接通过阈值分割、Blob 分析等方法难以准确定位纱筒内筒位置，考虑纱筒内外筒在几何特征上呈现出圆形特征，设计圆形卷积滤波核，对图像进行卷积操作，设计圆形滤波核如图 5：

Cycle Core =

0	-1	-1	0	0
0	-1	0	1	0
1	0	0	0	1
0	1	0	1	0
0	0	1	0	0

Figure 5. Circular convolution kernel

图 5. 圆形卷积核

在设计卷积核时要考虑实际环境中打光效果给图像带来的影响，本文处理对象中由于打光侧位于纱筒左侧，因此在设计时要对纱筒左上侧光照较强的区域进行抑制。卷积后图像保留下的信息主要是前后排纱筒的内筒区域，通过快速阈值分割得到含有目标纱筒内筒信息的 ROI 区域，在对 ROI 区域进行 Blob 分析，先进行连通域分析再根据区域面积进行筛选，得到纱筒内筒空心区域。

为了分割提取纱筒内筒区域，对卷积滤波前后图像执行图像相减操作，得到的图像中背景及纹理信息被有效抑制，接着通过分割以及曲线拟合得到纱筒内筒外轮廓，具体方法如下：

1) 根据纱筒内筒空心区域位置信息建立圆形掩膜，分割出包含纱筒内筒的区域。

2) 为减少内筒空心区域给分割算法带来的干扰，内筒区域需要去除内筒空心区域，得到包含纱筒内筒和纱线信息的图像 I。

3) 采用梯度、灰度阈值相结合的分割方法对图像 I 进行分割，得到纱筒内筒大部分区域，计算区域外轮廓，并建立二元二次模型，选择边缘曲率变换平稳点作为拟合点，通过最小二乘法拟合得到纱筒内筒外轮廓。

3. 实验

3.1. 相机标定

根据仿真标定的分析结果认为网格尺寸在 6~14 mm 时标定误差较小[12]，以 MATLAB 标定工具箱为基础进行试验论证，对标定格尺寸在 2~30 mm 范围内的标定板进行实验，证明棋盘格尺寸在 10~15 mm 时标定效果最好[13]。同时，文献也对标定图片数量与标定效果关系进行大量实验，实验证明当图片数量达到 8 张时标定结果接近理想值，当标定图片继续增多后，结果趋于平稳。综上，本文选择尺寸 15 mm、10 × 10 的标定板，选取 12 个不同的角度以张正友标定法进行相机标定如图 6，图 7。

相机标定时的相对位置以及每幅标定图像的标定误差如图 8 所示，标定得到相机的内参矩阵和畸变矩阵 D1 如表 1 所示。

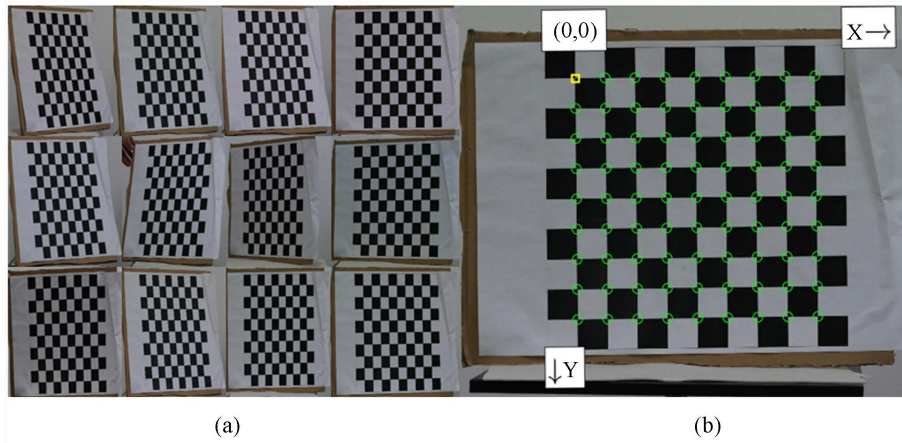


Figure 6. Camera calibration. (a) Multi-angle calibration images; (b) calibration image corners
图 6. 相机标定。(a) 多角度标定图; (b) 标定角点图

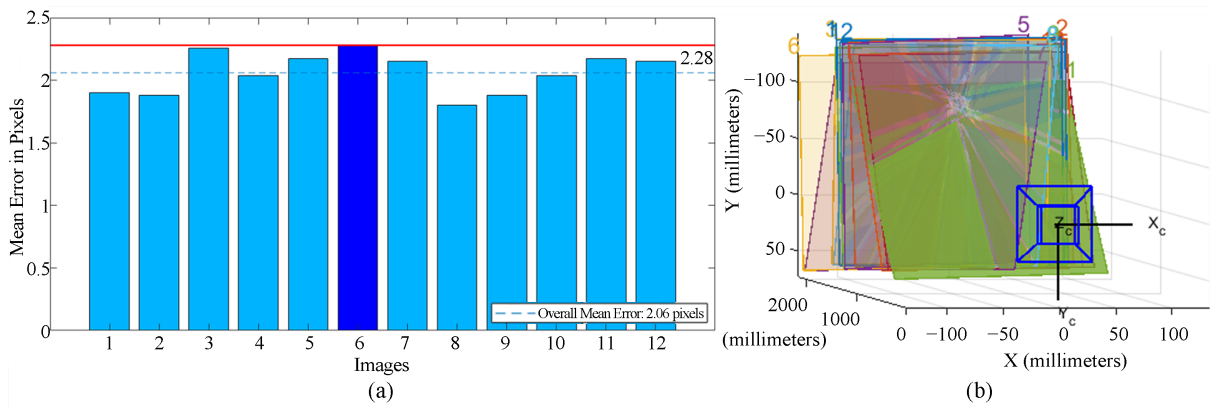


Figure 7. Camera calibration result. (a) Camera calibration error; (b) Camera calibration angle
图 7. 相机标定结果。(a) 相机标定误差; (b) 相机标定角度

Table 1. Camera calibration result
表 1. 相机标定结果

参数矩阵	矫正结果
内参矩阵	$\begin{bmatrix} 15567 & 0 & 0 \\ 0 & 15357 & 0 \\ 3249 & 1539 & 1 \end{bmatrix}$
畸变矩阵	$[-0.0267 \quad 62.3817]$

3.2. 算法实验结果

3.2.1. 直方图均衡化效果

根据上述直方图均衡化模型对纱筒三通道图像分别进行滤波，并将滤波后的三个通道再次叠加得到直方图均衡化后的彩色纱筒图像，滤波效果及其灰度图像灰度直方图如图 8 所示。可以看到经过均衡化滤波后的图像灰度特征得到加强，纱筒内筒与纱线区域灰度特征分化明显，特别是高光纱筒滤波效果更突出。

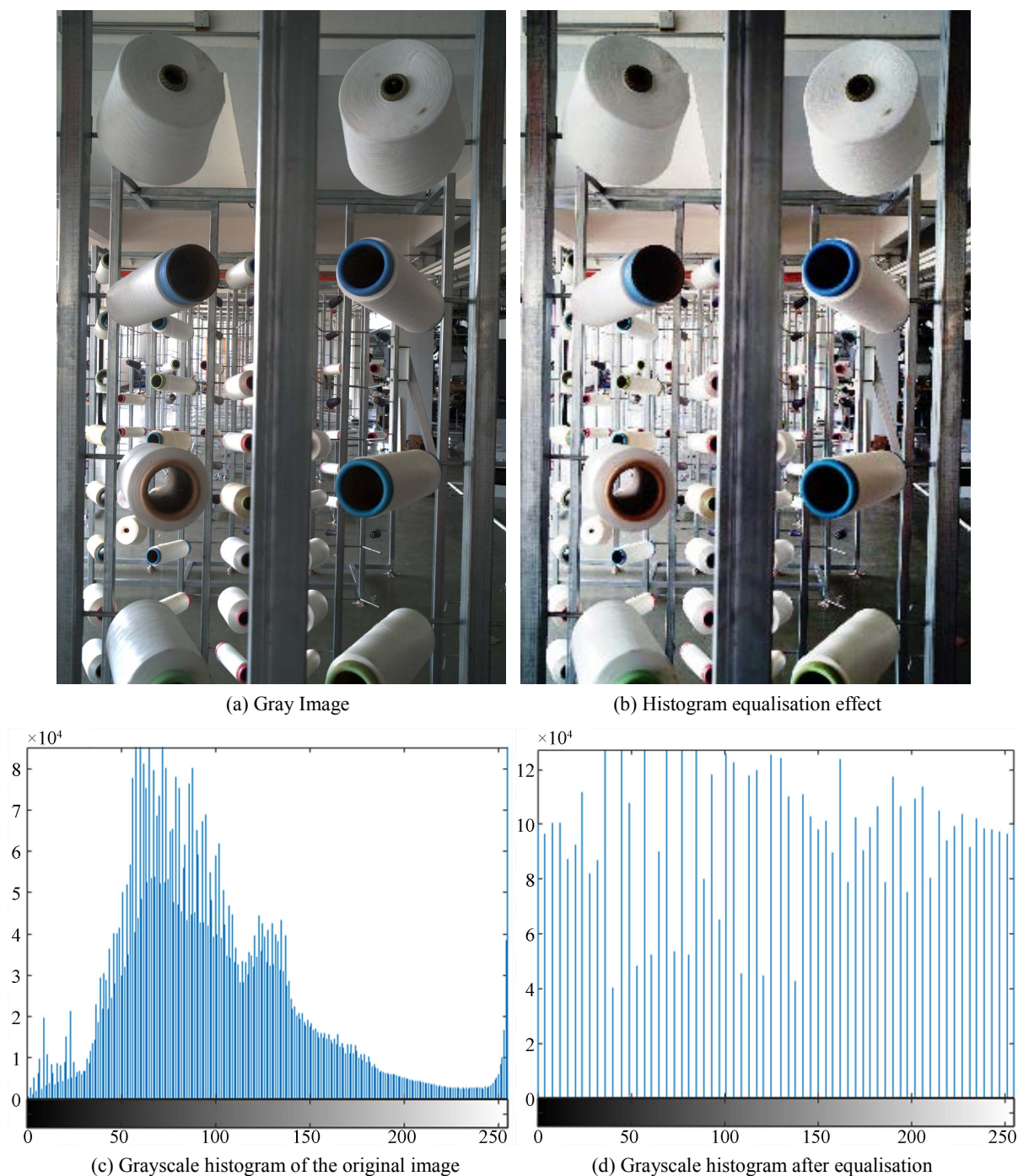


Figure 8. (a) Gray image; (b) Histogram equalisation effect; (c) Grayscale histogram of the yarn bobbin original image; (d) Grayscale histogram after equalisation

图 8. (a) 灰度图像; (b) 直方图均衡化; (c) 纱筒原图灰度直方图; (d) 均衡化后灰度直方图

3.2.2. 扩散滤波效果

对图像采用优化后的扩散方程模型对图像进行滤波并与传统扩散模型进行对比如图 9 所示, 可以看到, 相比于传统的扩散方程滤波, 优化后的滤波模型对纹理、纱线印痕等高频噪声抑制效果更好, 对图像整体噪声抑制效果更好, 同时保留图像的边缘信息。



Figure 9. Filter result of yarn bobbin. (a) Original image; (b) Classic filter model; (c) Optimised diffusion filtering
图 9. 纱筒滤波效果。(a) 原图像；(b) 传统滤波模型；(c) 优化后扩散滤波

3.2.3. 高斯卷积滤波效果

对滤波后的图像应用本文设计的圆形卷积核进行卷积滤波效果如图 10 所示,可以看到图像中的大部分纱线区域以及背景纱筒区域被有效抑制,特别是后排纱筒架等灰度特征与纱筒内筒相近的噪声也得到了有效的抑制,大幅降低了图像的噪声强度,减少背景区域对全局分割算法的干扰。

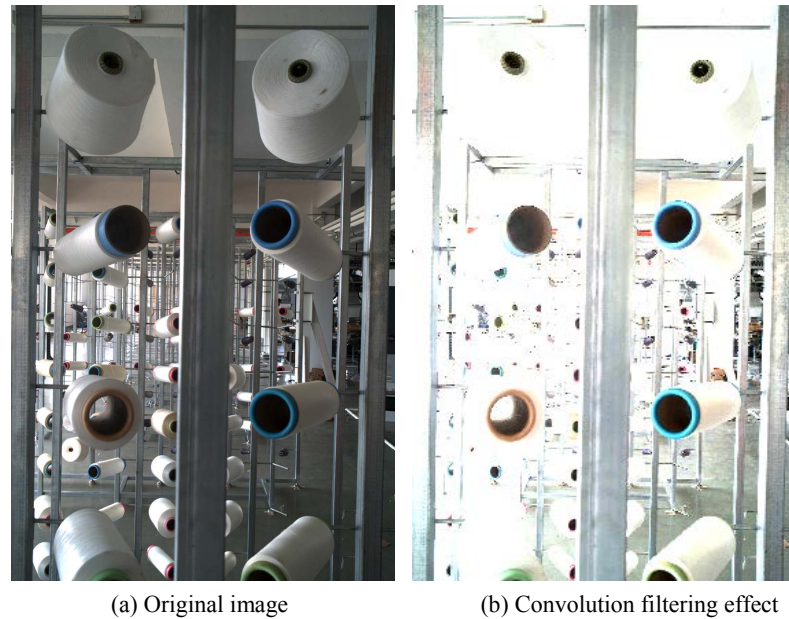


Figure 10. Filter result of yarn bobbin. (a) Original image; (b) Convolution filtering effect
图 10. 纱筒滤波效果。(a) 原图像; (b) 卷积滤波效果

卷积后即可对纱筒图像进行分割得到纱筒内筒区域, 首先进行快速阈值分割, 在进行连通域分析, 通过区域面积、圆度等区域特征进行筛选即可得到纱筒内筒区域, 考虑到纱筒轮廓呈现椭圆特征, 建立二元二次拟合模型对轮廓进行拟合, 并计算拟合曲线的最小外接矩形, 完成对纱筒的定位, 实验效果如图 11 所示。对卷积滤波后的纱筒图像按照上述图像运算得到目标纱筒内筒区域提取效果如图 11(a)所示, 其中可以看到部分纱筒区域结果中包含部分干扰区域, 对其计算最小外接矩形并标注如图 11(b)所示。定位结果与误差数据如表 2。



Figure 11. Contour extraction and positioning result of yarn bobbin. (a) Yarn bobbin area extraction. (b) Yarn bobbin positioning frame.
图 11. 纱筒轮廓提取及定位效果。(a) 纱筒区域提取; (b) 纱筒定位框

Table 2. Yarn bobbins positioning test results
表 2. 纱筒定位检测结果

纱筒编号	实际横坐标 (Row)	实际纵坐标 (Column)	检测横坐标 (RowDetect)	检测纵坐标 (ColDetect)	误差 (Error)	误差 (Error)/ (%)
1	303.06	537.46	306.72	535.08	3.655572	0.764858
2	345.74	1535.84	347.72	1543.55	1.98502	1.07469
3	1198.21	626.13	1195.61	624.23	-2.60303	-0.52044
4	1167.04	1401.31	1164.35	1391.29	-2.69715	-0.94554
5	2184.29	520.85	2187.73	527.63	3.453017	1.459207
6	2185.47	1393.00	2177.32	1385.96	-8.15505	-0.8783
7	391.14	506.16	390.33	504.35	-0.81358	-0.56468
8	424.78	1516.86	421.79	1521.28	-2.98709	-0.4125
9	1318.19	478.15	1314.27	477.19	-3.92201	-0.49815
10	1311.41	1482.37	1305.49	1484.96	-5.91825	-0.2767
11	2188.96	473.00	2185.24	469.522	-3.72735	-0.90525
12	2213.41	1454.96	2211.53	1465.62	-1.87267	0.647729

4. 结束语

本文针对企业生产场景下获取到的纱筒图像，设计了一种基于卷积滤波的纱筒定位检测算法。首先对图像进行滤波，通过对图像直方图均衡化增强图像区域特征，然后对传统各向异性扩散滤波进行优化，提出一种更符合企业使用要求的扩散函数并增加四个方向上的散度计算，增强滤波模型对纹理等高频信息的抑制效果，同时保留图像区域边缘信息，接着根据纱筒内筒几何特征与打光成像效果设计圆形卷积核对图像进行卷积，抑制纱筒图像大部分背景，最后对卷积图像分割，并进行 Blob 分析，根据圆度、区域面积等特征筛选得到纱筒内筒区域，再建立二元二次拟合模型拟合纱筒内同外轮廓，计算外轮廓最小外接矩形，实现对纱筒的定位检测。实验证明本文方法在保证检测效率的同时具有较高的准确率，能够对一个纱筒架上的八个不同类型纱筒同时定位检测。该论文对在实际生产情况下的纱筒纱线余量检测具有一定的启示意义，为传统算法在复杂条件下的目标检测提供支持。

参考文献

- [1] Huang, T., Yang, G. and Tang, G. (1979) A Fast Two-Dimensional Median Filtering Algorithm. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, & Signal Processing*, **27**, 13-18. <https://doi.org/10.1109/TASSP.1979.1163188>
- [2] Deshpand, S.D., Er, M.H., Venkateswarlu, R., et al. (1999) Max-Mean and Max-Median Filters for Detection of Small Targets. *Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, **3809**, 74-83. <https://doi.org/10.1117/12.364049>
- [3] Wan, M.J., Gu, G.H., Cao, E.C., et al. (2016) In-Frame and Inter-Frame Information Based Infrared Moving Small Target Detection under Complex Cloud Backgrounds. *Infrared Physics & Technology*, **76**, 455-467. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2016.04.003>
- [4] Yuan, Y.B., Piao, W.Y. and Xu, J.B. (2007) A fast Gaussian Filtering Algorithm for Three-Dimensional Surface Roughness Measurements. *Journal of Physics: Conference Series*, **48**, 1401. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/48/1/259>
- [5] Deng, H., Yao, H., Wei, Y.T., et al. (2016) A Parzen Window-Based Approach to Detection of Infrared Dim Target under Sea-Sky Background. *International Journal of Automation and Computing*, **13**, 447-456. <https://doi.org/10.1007/s11633-016-0976-4>
- [6] Buades, A., Coll, B. and Morel, J.M. (2005) A Non-Local Algorithm for Image Denoising. *Computer Vision and Pat-*

tern Recognition, CVPR 2005, Vol. 2, 60-65.

- [7] Elad, M. (2002) On the Origin of the Bilateral Filter and Ways to Improve It. *IEEE Transactions on Image Processing*, **11**, 1141-1154. <https://doi.org/10.1109/TIP.2002.801126>
- [8] 魏松涛, 何文思. 一种基于均值滤波和梯度影响因子的滤波算法[J]. *机械制造与自动化*, 2020(1): 20-22.
- [9] 刘保中, 刘建宾. 一种改进的非局部均值超声图像降噪算法[J]. *北京信息科技大学学报*, 2018, 33(5): 54-59.
- [10] Boughida, M. and Boubekeur, T. (2017) Bayesian Collaborative Denoising for Monte Carlo Rendering. *Computer Graphics Forum*, **36**, 137-153. <https://doi.org/10.1111/cgf.13231>
- [11] 花思齐, 赵伟, 刘建业. 基于改进滤波器和图像多尺度变换的背景抑制算法[J]. *系统工程与电子技术*, 2020, 42(8): 1679-1684.
- [12] Wang, Z.X. (2001) Discussion on “Research on Perspective Transformation”. *Journal of Computer Aided Design and Graphics*, **12**, 1148-1149.
- [13] Ding, W.L., Wang, M.K., Gu, C. and Wang, W.F. (2017) A Fast Image Correction Method for Multi-Target QR Codes. *Acta Optica Sinica*, **37**, 106-114. (In Chinese) <https://doi.org/10.3788/AOS201737.1010001>