[文章编号] 1003－4684(2025)05-0006-05

多纹理特征的纺织品丝印图像分割算法

申 阳，朱 浩，申平枫，都令炜，王冲宇，周明刚
（湖北工业大学机械工程学院，湖北 武汉 430068）

[摘 要] 纺织品丝印缺陷检测对精度要求较高，在图像检测过程中，由于纹理背景复杂多变，难以通过单一通用算法实现图像的高精度分割。将灰度直方图视为单峰分布的概率密度函数，采用二次移动平均值求解峰值，进而获取特定质量下的最高密度区间，借助该最高密度区间实现无损消除背景纹理与分割印刷图像的目标。通过大量实验，并与 Otsu 法、传统 GrabCut 算法进行对比分析可知，所提出的方法能够有效消除纺织品丝印图像的各类背景纹理，抑制噪声干扰、准确分割出纺织品丝印图像，算法正确分割率达到 91.93%，能很好地满足纺织品丝印图像目标高精度分割与检测的需求。

[关键词] 丝印缺陷；多纹理；灰度直方图；最高密度区间
[中图分类号] TS147 [文献标识码] A

纺织品(如织带)的丝印质量要求严苛，部分场景下要求印刷错位小于 0.3 mm。然而，受印刷过程中定位误差等因素影响，其印刷质量问题频发。现有丝印纺织品错位检测主要依赖人眼识别判断，不仅劳动强度大，还存在较多漏测现象，造成大量资源浪费。为提升印刷效率，实现印刷过程中缺陷检测的自动化，亟待解决印刷环境下纺织品丝印图像的分割问题[1-3]。

针对丝印纺织品图像的分割，诸多传统方法借助边缘信息实现分割，例如 Canny 边缘检测、Sobel 算子、Prewitt 算子等[4]。这类方法用于提取图像中的边缘特征。边缘是图像中灰度或颜色发生显著变化的区域，通常可作为目标与背景之间的分界线，基于边缘信息提取的方法正是通过检测图像边缘完成分割。但对于纹理丰富的丝印纺织品图像，采用基于边缘提取的方法分割时，易出现伪边缘问题，进而影响分割效果[5]。这是因为此类方法仅关注图像的灰度或颜色变化，却忽略了纹理信息的复杂性。

国内外关于丝印纺织品纹理的计算机分割技术，主要集中于阈值分割[6-7]、区域分割[8]、聚类分析[9-10]、均值漂移[11]及显著性分割[12]等方向。在众多分割算法中[13-15]，OTSU 算法因分割效果较好而得到广泛应用。OTSU 算法[16]是一种常用的自适应阈值分割方法，其核心原理是通过最小化类间方差确定图像的最佳阈值[17]。该算法假设图像像素直方图呈双峰或近似双峰分布，在此情况下能有效确定合适阈值。但当直方图为单峰或近似单峰分布时，OTSU 算法无法准确确定阈值，可能导致分割效果不佳。此外，若图像中目标与背景的面积相差较大，OTSU 算法也可能难以获得合适阈值，其原因在于该算法仅依据灰度值的统计特性来确定阈值，未考虑目标与背景的面积差异。

张弘[18]等提出基于局部活动特征矩阵的图像特征，构建了一种新颖的局部图像阈值技术。与传统的阈值分割算法相比，该方法在阈值选择上更准确，可实现更清晰的图像分割，但对于波峰和波谷接近的图像，其效果并不显著。吴正平[19]等提出一种基于多方向灰度波动的局部阈值分割算法，通过在水平、垂直、左、右对角线四个方向搜索并定位每条灰度波动曲线的大尺度波峰和波谷，再利用一维阈值分割实现各方向灰度波动曲线的局部阈值分割。该算法能有效降低光照不均匀对图像的干扰，从而改善图像分割效果；但当目标灰度值在图像中出现频率低于背景灰度值，且波谷特征并不明显时，上述两种方法均存在一定问题，导致分割任务失败。

由于丝印纺织品类型多样，且各类丝印纺织品在满足检测精度的拍摄条件下纹理背景存在较大差异，上述方法仅能针对部分纺织品的纹理背景进行滤除，无法适用于所有类型的丝印纺织品。针对这一问题，本文首先将图像的灰度直方图视为单峰分

[收稿日期] 2024－04－08
[基金项目] 湖北省重点研发计划(2022BBA016)
[第一作者] 申 阳(1983－)，男，河北邯郸人，工学博士，湖北工业大学讲师，研究方向为农业机器人。
[通信作者] 周明刚(1969－)，男，湖北荆门人，工学博士，湖北工业大学教授，研究方向为机械振动与噪声。

布的概率密度函数,利用二次移动平均值求解峰值,进而获取特定质量下的最高密度区间,通过该最高密度区间实现图像分割和背景消除,并对常见的 20 余种纹理类型纺织品丝印图像开展实验,充分验证了该算法的有效性和实用性。

1　基于二次移动平均的最高密度区间检测

图像的灰度直方图是一个函数,记为 $H(v)$。其中,v 代表某个特定的灰度值,而 $H(v)$ 表示图像中灰度值为 v 的像素点数量。对于一张 8 位的灰度图像,灰度级别的范围从 0 到 255,总共有 256 种可能的灰度值。图像灰度直方图的峰值是指直方图中出现频率最高的灰度级别,即 $H(v)$ 的最大值所对应的灰度值 v。在直方图中,这些峰值代表了图像中最常见的亮度。

图 1 为一张丝印纺织品背景图像的灰度直方图。由图可知,根据灰度直方图中的波峰,可先筛选出波峰处所对应的像素;再在这些像素中提取空间密集程度较大的点作为候选点;随后将灰度直方图视为单峰分布的概率密度函数,利用二次移动平均法确定具有一定质量的最高密度区间;最后将该最高密度区间应用到丝印纺织品图像中,以此实现图像分割的目的。

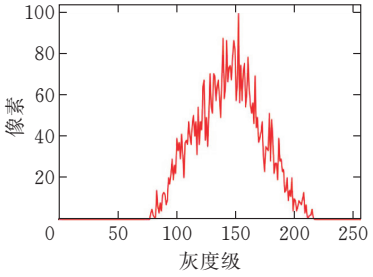

图 1　丝印纺织品背景图像灰度直方图

1.1　灰度直方图数据预处理

从图 1 可以看出,灰度直方图的轮廓实际上呈现出较高的不平滑性。首先可以对单峰分布的概率密度函数进行归一化处理,并使用移动平均值对数据进行平滑处理。移动平均数法是一种常见的时间序列预测方法,它通过计算一系列连续时间段内的均值来平滑原始数据。

移动平均预测的基本思想是,在时间序列中,总体趋势一般是相对平稳的,可以利用历史数据的趋势来预测未来的数据。根据时间序列的特征不同,移动平均预测可以分为一次移动平均和二次移动平均两种情况。

一次移动平均预测是一种简单的时间序列预测方法,它通过计算时间序列中一定时间段内的均值来估计未来的趋势。在一次移动平均预测中,首先选择一个固定的时间窗口大小(例如 N),然后将过去 N 个时间点的数据进行求和,并除以 N,得到移动平均值,将该移动平均值作为下一个时间点的预测值。一次移动平均预测方法的核心是利用过去一段时间内数据的平均值来估计未来的趋势,它适用于对短期趋势进行预测,可平滑数据中的噪声和波动,为使用者提供一个相对稳定的预测结果。其计算公式为:

$$\hat{y}_{t+1} = M_t = \frac{y_t + y_{t-1} + \cdots + y_{t-N+1}}{N} = \frac{1}{N}\sum_{i=0}^{N-1} y_{t-i} \quad (1)$$

式中:y_t,y_{t-1},…,y_{t-N+1} 分别代表第 t,$t-1$,…,$t-N+1$ 期的观察值;N 为平均项数。

二次移动平均预测是一种对时间序列数据进行两次移动平均操作的预测技术。作为一种常用的平滑技术,它通过对原始数据先后实施两次平均处理,有效削弱随机波动的影响,进而更精准地估计未来数据的变化趋势。在二次移动平均预测中,首先对原始数据进行第一次移动平均,得到一次平滑的序列。平均的结果称为一次移动平均值,记为 $M_t^{(1)}$。然后,对一次平滑的序列再进行第二次移动平均,得到二次平滑的序列,平均的结果称为二次移动平均,记为 $M_t^{(2)}$。最后,将二次平滑序列中的最后一个值作为下一个时间段的预测值,其计算公式分别为:

$$M_t^{(1)} = \frac{y_t + y_{t-1} + \cdots + y_{t-N+1}}{N} \quad (2)$$

$$M_t^{(2)} = \frac{M_t^{(1)} + M_{t-1}^{(1)} + \cdots + M_{t-N-1}^{(1)}}{N} \quad (3)$$

相较于一次移动平均预测,二次移动平均预测方法更加平滑,可以更好地捕捉数据的长期趋势。

由于一次移动平均预测仅能推测未来一期的预测值,且仅适用于呈水平趋势的时间序列。当使用移动平均方法进行预测时,若时间序列数据(如与灰度分布相关的监测数据)具有明显趋势,直接采用一次移动平均值作为预测值可能会产生滞后偏差。窗口大小(即项数 N)本质上是一个平均化的时间窗口:当 N 较小时,预测结果能更快响应数据变化,但受随机噪声影响较大;当 N 较大时,预测结果可更平稳地反映数据趋势,但会导致更显著的滞后偏差。

通过使用 Matplotlib 库中的 hist 函数对某幅丝印纺织品背景图像的灰度数据进行处理,绘制得到相应的灰度直方图(图 2)。图中横轴代表灰度级,纵轴代表概率密度。鉴于丝印纺织品背景图像的灰度直方图所对应的时序数据具有明显趋势,本文采用二次移动平均法对灰度直方图数据进行平滑处理。经归一化与平滑处理后的结果如图 3 所示。

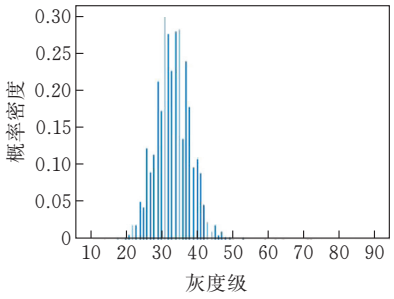

图 2 灰度直方图

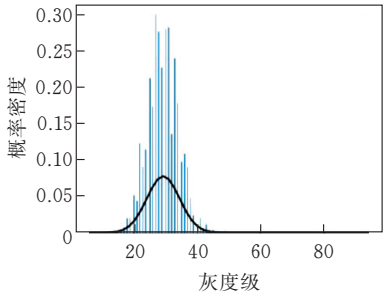

图 3 归一化和平滑处理后结果

1.2 灰度直方图峰值提取

将灰度直方图视为单峰分布的概率密度函数，求取概率密度函数的峰值流程如图 4 所示。

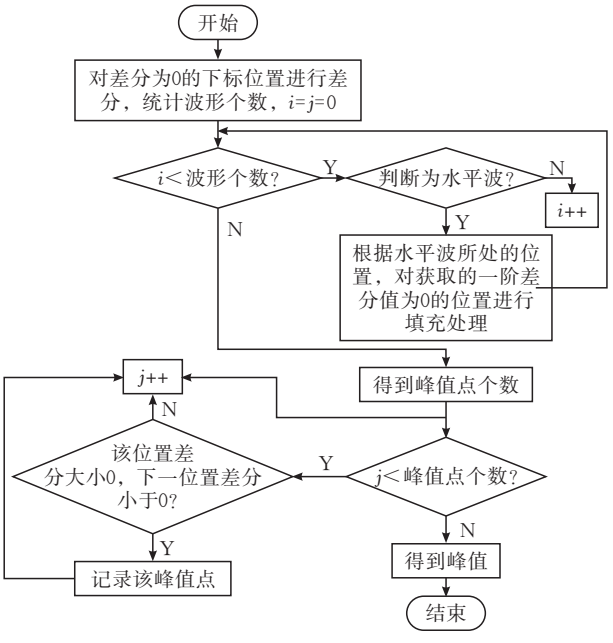

图 4 求取概率密度函数峰值流程

求取灰度直方图数据峰值的具体流程如下：

1)获取灰度直方图数据的一阶差分 dy，以及差分为 0 的下标位置 zeros。

2)对 zeros 进行差分，判断当前波形是否为水平的。若对 zeros 进行差分结果中差分值为 1，则该位置为水平波的位置，否则为非水平波的位置；并对 zeros 中的下标进行分组。

3)对每一个水平波进行处理，选取水平波中的中值点作为唯一的峰值点，对步骤 1)中 dy 进行修改。若水平波处于起始位置，则 dy 在起始位置进行向前填充；若水平波处于结束位置，则 dy 在结束位置进行向后填充；若水平波处于中间位置，则 dy 在中间位置进行前后填充，使得每一个水平波中仅具有一个峰值转向点。

4)若该位置处的微分值 $dy[i]>0$，并且下一位置处的微分值 $dy[i+1]<0$，则获取峰值检测的峰值点。

5)对步骤 4 中获取的峰值点按照其幅值进行排序(从高到低)，使用峰值检测距离，筛除无效的峰值点。最终能够获得峰值点的指示矩阵。

图 5 为求取的灰度直方图数据峰值。

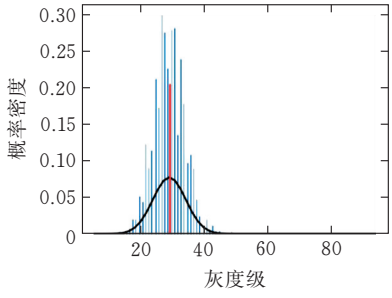

图 5 灰度直方图数据的峰值

同时，为提升数据准确性，需将单个像素点的取值范围扩展至包含该像素点的一段区间，并以该区间作为判断依据，此区间即定义为“窗口”。在获取灰度直方图数据的峰值后，可进一步确定灰度直方图中局部最大值的分布范围；随后通过指定峰值范围所对应的像素质量阈值，最终筛选出最高密度区间。求取概率密度函数最高密度区间的具体流程如下：

1)对概率密度函数中的值进行排序，确定累积概率达到所需置信度的位置；

2)对排序后的概率质量函数值进行累积求和，得到累积概率(累积概率表示在当前位置之前的概率质量总和)；

3)在累积概率中找到第一个超过或等于所需置信度的位置，这个位置对应的概率值即为最高密度区间的高度；

4)找到所有概率值大于等于最高密度区间高度的区间，并将这些区间的质量(概率值)相加，得到最高密度区间的质量；

5)找到所有落在最高密度区间内的概率质量函数值的索引，这些索引构成了最高密度区间的范围。

本文使用 Python 语言中的 NumPy 库来计算概率密度函数的最高密度区间，图 6 为求取的灰度直方图数据的最高密度区间。

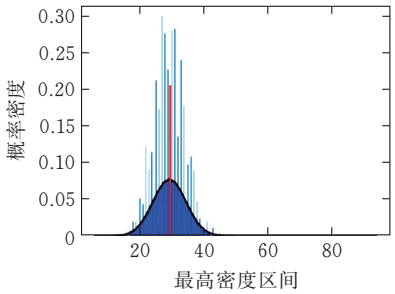

图 6　灰度直方图数据的最高密度区间

2　算法流程

织带丝印纺织品图像分割算法流程（图 7）如下：

1）选择织带丝印纺织品表面图像 ROI 区域，以 ROI 区域外为背景，将背景图像的 RGB 三通道分离出来，针对某一通道绘制出灰度直方图；

2）将灰度直方图视为单峰分布的概率密度函数，对灰度直方图数据进行平滑处理，基于二次移动平均获得灰度直方图数据的峰值；

3）从归一化的灰度直方图数据中找出局部最大值的范围；

4）通过指定峰值范围区域的所需质量，从而获得灰度直方图数据的最高密度区间；

5）将求取的最高密度区间应用到纺织品丝印图像，来达到滤除纹理背景的目的。

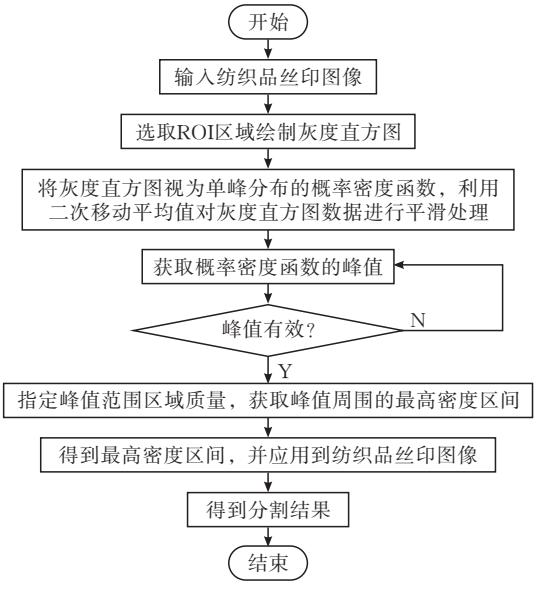

图 7　丝印纺织品图像分割算法流程

3　实验结果及分析

3.1　实验设备

为满足实验要求的分割精度，使用 MV-A5B51CG4 型号的工业相机进行丝印纺织品图像的采集。实验所用计算机配置：AMD Ryzen 7 5800H with Radeon Graphics 3.19 GHz，16G 内存，64 位 Windows10 操作系统。本实验所使用的纺织品丝印图像是通过搭建光学实验平台采集所得。光学实验平台如图 8 所示。采集所用相机为大华生产的 MV-A5B51CG4 彩色面阵相机。拍摄图像大小为 3000×776，且 1 cm 内包含至少 150 个像素点，满足精度要求。采集到的部分织带丝印纺织品图像可见纺织品种类繁多，织法不一，纹理差异很大（图 9）。

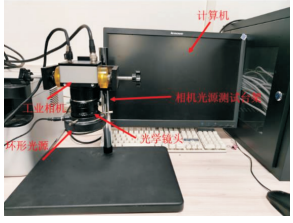

图 8　光学实验平台



图 9　丝印纺织品图像

3.2　实验结果分析

将本文算法与 Otsu 法、传统 Grab Cut 法进行了比较，图 10 所示为 3 种算法对预处理后图像的分割效果。从图 10 中可看出：第二列的 Otsu 法虽能较好地分割部分类型的丝印纺织品图像，但受纹理复杂性影响，对某些类型丝印纺织品图像的分割效果并不理想；第三列的传统 Grab Cut 算法存在对局部噪声敏感、复杂背景下边缘提取效果不佳等缺点，其分割结果常出现突刺、分割不完全等问题，最终导致分割失败；第四列为本文提出的“基于二次移动平均的灰度直方图分割算法”的处理效果，可见该算法对所有测试图像均能实现成功分割，且整体分割效果更优。



（a）丝印纺织品图像　（b）Otsu算法　（c）Grab Cut 算法　（d）本文算法

图 10　分割算法效果对比

3.3　算法分割效率分析

对工业相机拍摄的丝印纺织品图像分别采用这

三种方法进行分割(传统的 Grab Cut 算法迭代 5 次),统计出这 3 种算法的正确分割率和平均运行时间(表 1)。从表中可见:1)本文算法对纺织品丝印图像分割成功率达到 91.93%,远高于传统 Grab Cut 算法以及 Otsu 算法;2)本文算法的误差像素率远低于 Otsu 算法和传统 Grab Cut 算法;3)本文算法时间效率居于两种算法之间,在工作现场这个检测速度可以满足工作需要。

表 1 3 种算法的正确分割率、平均运行时间及误差像素率

指标	Otsu 算法	传统 Grab Cut 算法	本文算法
正确分割率/%	72.21	81.52	91.93
平均运行时间/ms	48	84501	892
误差像素率/%	23.56	40.32	5.82

4 结论

为解决纺织品丝印图像检测中复杂多变纹理的消除问题,本文提出一种基于二次移动平均的图像灰度直方图分割算法,并将该算法应用于纺织品丝印图像,有效分割出了纹理背景与印刷图像。其结论如下:

1)将灰度直方图视为单峰分布的概率密度函数,通过二次移动平均值获取灰度直方图数据的峰值,进而得到高质量的最高密度区间;利用该最高密度区间可实现背景纹理的无损消除,并成功分割出印刷图像。

2)经大量实验验证,并与 Otsu 算法、传统 Grab Cut 算法进行对比分析,本文提出的基于二次移动平均的图像灰度直方图分割算法,能够有效消除纺织品丝印图像的各类背景纹理,且可准确分割出印刷区域。实验数据显示,该算法的正确分割率、平均运行时间及误差像素率分别为 91.93%、892 ms、5.82%。

3)对含不同纹理背景的丝印纺织品图像进行分割实验测试,结果表明:本文提出的算法具备高度准确性、优异的鲁棒性和高效率,且对噪声干扰具有较强抵抗能力,能够满足纺织品丝印图像高精度分割和检测要求,为后续图像配准及缺陷检测工作奠定了坚实基础。

[参 考 文 献]

[1] 曹丽,胡旭东.基于多特征融合的织物印花图像分割[J].纺织学报,2016,37(08):149-153.

[2] 景军锋,李阳,李鹏飞,等.基于小波域多尺度 Markov 随机场的织物印花图案分割[J].纺织学报,2014,35(01):127-133.

[3] 赵浩铭,张团善,马浩然,等.基于语义分割的织物疵点检测算法研究[J].现代纺织技术,2024,32(01):27-35.

[4] MALIK J, BELONGIE S, LEUNG T, et al.Contour and texture analysis for image segmentation[J]. International journal of computer vision, 2001, 43: 7-27.

[5] LEE H C, COK D R.Detecting boundaries in a vector field[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1991, 39(05): 1181-1194.

[6] WANG M, LIN J S, FU Z X, ET AL.. An adaptive threshold segmentation algorithm for gesture segmentation[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 2987 (513-517): 457-460.

[7] WANG Y. A New Image Threshold Segmentation based on Fuzzy Entropy and Improved Intelligent Optimization Algorithm[J]. Journal of Multimedia, 2014, 9 (04): 499-505.

[8] 陈甦欣,赵安宁,罗乐文.基于机器视觉的芯片字符区域分割和定位算法[J].组合机床与自动化加工技术,2024(04):10-13.

[9] SUSZYŃSKI Ś R .Cluster segmentation of thermal image sequences using kd-tree structure [J]. International Journal of Thermophysics, 2014, 35 (12): 2374-2387.

[10] DUBEY S R, DIXIT P, SINGH N et al.Infected fruit part detection using k-means clustering segmentation technique[J]. International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence, 2013, 2 (02): 65-72.

[11] 奚昌泽,梁丹,绍千钧,等.基于均值漂移与自适应阈值分割的刀具磨损检测方法[J].机械制造,2021,59(05):71-75.

[12] CHENG M M, MITRA N J, HUANG X. Salient-Shape: group saliency in image collections[J]. The Visual Computer, 2014, 30 (04): 443-453.

[13] 巢渊,戴敏,陈恺,等.基于广义反向粒子群与引力搜索混合算法的多阈值图像分割[J]. 光学精密工程,2015, 23 (03): 879-886.

[14] 吴俊凯. 基于高光谱成像的纺织品颜色分割与提取方法研究[D].杭州:浙江理工大学, 2021.

[15] 马明寅,狄岚,梁久祯.基于图像校正和模板分割的纺织品瑕疵检测[J].南京大学学报(自然科学), 2021,57(01):29-41.

[16] KITTLER J, ILLINGWORTH J. Minimum error thresholding[J]. Pattern recognition, 1986, 19(01): 41-47.

[17] OTSU N.A threshold selection method from gray-level histograms[J]. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, 1979, 9(01): 62-66.

[18] 张弘,高威.基于局部空间信息的阈值分割算法[J].计算机与数字工程, 2018,46(02):251-255.

[19] 吴正平,马占稳,颜华,等.基于图像的多方向灰度波动局部阈值分割方法[J].激光与光电子学进展, 2020,57(06):189-194.

(下转第 30 页)