

多联融合优化模板匹配的纱纸管分类方法

毕俊波 李国平 李猛 刘海宁

Yarn paper tube classification method with multi-linked fusion optimized template matching

BI Junbo, LI Guoping, LI Meng, LIU Haining

引用本文:

毕俊波, 李国平, 李猛, 等. 多联融合优化模板匹配的纱纸管分类方法[J]. 应用光学, 2024, 45(2): 365–372. DOI: 10.5768/JAO202445.0202003

BI Junbo, LI Guoping, LI Meng, et al. Yarn paper tube classification method with multi-linked fusion optimized template matching[J]. Journal of Applied Optics, 2024, 45(2): 365–372. DOI: 10.5768/JAO202445.0202003

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.5768/JAO202445.0202003>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于改进模板匹配及图像差分法的PCB板缺陷多级检测方法

Multi-level detection method for PCB board defects based on improved template matching and image difference

应用光学. 2020, 41(4): 837–843 <https://doi.org/10.5768/JAO202041.0409806>

海面弱小目标高光谱融合技术研究

Hyperspectral data fusion technology for weak small sea surface target

应用光学. 2017, 38(1): 37–41 <https://doi.org/10.5768/JAO201738.0102001>

基于音视频信息融合的目标检测与跟踪算法

Object detection and tracking algorithm based on audio-visual information fusion

应用光学. 2021, 42(5): 867–876 <https://doi.org/10.5768/JAO202142.0502007>

改进VGG网络的多聚焦图像的融合方法

Multi-focus image fusion method based on improved VGG network

应用光学. 2020, 41(3): 500–507 <https://doi.org/10.5768/JAO202041.0302003>

基于改进SSD的车辆小目标检测方法

Detecting method of small vehicle targets based on improved SSD

应用光学. 2020, 41(1): 150–155 <https://doi.org/10.5768/JAO202041.0103004>

融合检测机制的鲁棒相关滤波视觉跟踪算法

Fusion detection mechanism of robust correlation filtering visual tracking algorithm

应用光学. 2019, 40(5): 795–804 <https://doi.org/10.5768/JAO201940.0502002>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

文章编号: 1002-2082 (2024) 02-0365-08

多联融合优化模板匹配的纱纸管分类方法

毕俊波, 李国平, 李 猛, 刘海宁

(济南大学 机械工程学院, 山东 济南 250024)

摘 要: 圆锥纱纸管的自动分类识别一直是该部件智能制造方面的技术难题, 针对传统图像分类方法无法兼顾速度与精度, 以及深度学习成本大、部署难、硬件要求高等问题, 提出了一种基于多联融合优化模板匹配的纱纸管分类方法。采用多个改进算法及策略并使用三次数据降维加快模板匹配速度。将用于运动估计的优化算法 SEA(successive elimination algorithm) 用于模板匹配中, 并把该算法的阈值改进为自适应阈值, 用于加强算法鲁棒性; 采用小波金字塔进行数据降维, 减少运算量并提高运算速度; 最后采用十字灰度特征模板代替传统 SAD(sum of absolute differences) 算法及其模板计算性能指标, 并采用提前停止迭代搜索的策略进一步滤除数据, 设置累计误差阈值来提前停止搜索。匹配实验表明, 本文的改进算法保证了精度, 并且匹配速度达到了 0.126 s 左右; 对比、消融实验表明, 本文算法在保证精度的前提下, 速度比传统 SAD 算法提升了近 11 倍, 相比于一些其他经典的方法在速度上也均有提升, 证明了该方法的有效性。

关键词: 模板匹配; 圆锥纱纸管; 目标分类检测; 算法融合改进

中图分类号: TN911.73; TP391.4

文献标志码: A

DOI: 10.5768/JAO202445.0202003

Yarn paper tube classification method with multi-linked fusion optimized template matching

BI Junbo, LI Guoping, LI Meng, LIU Haining

(School of Mechanical, University of Jinan, Jinan 250024, China)

Abstract: The automatic classification and recognition of conical yarn paper tubes has been a hot topic in the intelligent manufacturing of this component. A yarn paper tube classification method based on multiple fusion optimized template matching was proposed to address the problems that traditional image classification methods could not balance speed and accuracy, as well as high cost of deep learning, difficult deployment, and high hardware requirements. Several improved algorithms and strategies were adopted and three times data dimensionality reduction was used to accelerate the template matching speed. First, the optimization algorithm, successive elimination algorithm (SEA) used for motion estimation was used in template matching, and the threshold of this algorithm was improved to adaptive threshold for enhancing the robustness of the algorithm. Then, the wavelet pyramid was used to further reduce the amount of operations to improve its speed. Finally, the cross gray scale feature was used instead of the traditional sum of absolute differences (SAD) algorithm to calculate the performance index, and the strategy of stopping the iterative search in advance was used to further filter the data and set the cumulative error threshold to stop the search in advance. The matching experiments show that the improved algorithm guarantees the accuracy and the matching speed reaches about 0.126 s. The comparison and ablation experiments show that, under the premise of ensuring the accuracy, the speed of the

收稿日期: 2023-05-12; 修回日期: 2023-08-27

基金项目: 山东省自然科学基金面上项目 (ZR2021ME101); 山东省科技型中小企业创新能力提升工程项目 (2022TSGC2416)

作者简介: 毕俊波 (1998—), 男, 硕士研究生, 主要从事计算机视觉、目标检测研究。E-mail: 994225903@qq.com

通信作者: 李国平 (1971—), 男, 博士, 教授, 主要从事模式识别、无损检测研究。E-mail: me_ligp@ujn.edu.cn

algorithm is nearly 11 times higher than that of the traditional SAD algorithm, compared with some other classical methods in the speed are also improved, which verifies the effectiveness of the method.

Key words: template matching; conical yarn paper tube; target classification detection; algorithm fusion improvement

引言

圆锥纱纸管是纺纱行业不可或缺的关键部件,直接关系到企业纺织的连续性与生产效率^[1]。目前国内制造厂商绝大多数都是采用人工分类方法,人为影响较大,生产效率、精确度低下,并且随着劳动力成本的不断增加,企业的发展遇到了瓶颈。因此,本文利用图像模板匹配技术实现该部件分类的智能化制造流程,提高生产效率。

模板匹配是视觉领域实现目标定位识别、视频编码及目标跟踪的关键技术之一,已在卫星遥感、自动导航、医学 X 射线、瑕疵检测以及图案识别等许多领域中得到了广泛应用^[2]。图像匹配算法可分为两类:基于图像特征的匹配算法和基于图像灰度值的匹配算法。前者是先提取反映图像关键信息的特征如点、线、颜色等,然后以这些特征为模板进行匹配,显然计算量不大,但是目前的特征提取技术只能对特征简单明确的图像有效,对于复杂图像往往提取效果不好,精度不高^[3],且算法复杂不统一,不利于硬件实现;对于后者是用已有的模板图片在待匹配图片上进行遍历搜索,以特定的规则与模板覆盖区域的图像进行指标计算,最后得到目标区域,匹配精度高,但其计算量大且速度慢是关键问题,可以通过优化算法加快匹配速度,故本文采取的模板匹配算法属于后者,即基于灰度值的模板匹配算法。传统的模板匹配算法如 SAD(sum of absolute differences)、NCC(Normalized cross correlation)算法等是耗尽型算法,在整个原图上进行遍历与模板匹配运算,虽然结果为全局最优解,精度高,但匹配时间长,不利于实时运算,所以对其速度进行优化很有必要。LIU B 等人^[4]提出了改进的 SSDA(sequential similarity detection algorithm)算法,SSDA 算法在每次子图与模板的匹配过程中,根据误差阈值进行提前停止搜索,而不是对全部像素值进行指标计算,由于原图中大部分子图与模板误差都很大,在每次匹配中很快会达到误差阈值而停止计算,转而进入下一个子图匹配,所以会提高算法速度,但是在计算子图灰度和时,不采用每个子图互不相关区域和计算,而是改进为用积分图像的计算方式提高计

算速度;于晓东等人^[5]提出了一种新的基于投影的模板匹配技术,利用投影将二维数据变为一维后用 KMP(Knuth Morris Pratt)算法进行匹配从而提高计算速度;王振江等人^[6]提出了小波金字塔与 SSDA 融合并采用投影思想的新型算法提高计算速度;王立新等人^[7]提出了改进的 SSDA 方法,并提出了固定阈值、阈值序列等改进方法,提高了算法速度。

针对圆锥纱纸管在分类时高精度、实时性、低成本和易部署等需求,提出了一种多联融合优化模板匹配的纱纸管分类方法,多联融合即将多种有效的模板匹配改进方法如 SEA、图像金字塔、十字灰度特征等方法联合并进行改进提升算法速度,最终融合到一起。该方法将图像模板匹配技术创新性地应用于纱纸管分类,并对传统模板匹配算法进行了多种融合创新以及相关策略改进,大大减少了模板匹配过程中的计算量,在保证精度下有效提升了计算速度,达到了实时需求,且本文算法为传统视觉算法,部署简单且成本低,不需要高性能 GPU 与数据集训练等。最终实验表明,该算法模型在圆锥纱纸管分类时可快速精准地匹配到各类别纱纸管,证明了该算法的实时性及有效性。

1 各级优化算法及策略

1.1 SEA 改进

SEA 是一种块匹配算法,主要用于视频编码中运动估计^[8],本文将其用于图像的模板匹配,并进行改进实现自动阈值。由于原图中只有子图,附近的区域与模板误差较小,其余区域明显不匹配,所以其主要思想就是在各个子图与模板匹配的过程中根据一个判定条件跳过这些明显不匹配区域的误差计算,从而提高计算速度。

为方便说明 SEA 算法,设模板 $T: M \times M$,原图 $S: N \times N$,相似性函数为 SAD 函数,如式(1):

$$D_{\text{SAD}}(i, j) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M |S_{i,j}(m, n) - T(m, n)| \quad (1)$$

式中: (i, j) 为原图与模板对应的第 (i, j) 个子图,是该

子图的左上角坐标; $S_{i,j}(m,n)$ 是第 (i,j) 个子图的第 (m,n) 个像素值; $T(m,n)$ 是模板的第 (m,n) 个像素值; $D_{\text{SAD}}(i,j)$ 就是第 (i,j) 个子图 $S_{i,j}$ 与模板 T 的所有对应的像素值的误差也即性能指标。由绝对值不等式原理推出式 (2):

$$\begin{cases} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M (|S_{i,j}(m,n)| - |T(m,n)|) \leq D_{\text{SAD}}(i,j) \\ \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M (|T(m,n)| - |S_{i,j}(m,n)|) \leq D_{\text{SAD}}(i,j) \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M S_{i,j}(m,n)$ 为第 (i,j) 个子图的灰度值之和, 为方便阐述令其为 $M(i,j)$; $\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M T(m,n)$ 为模板灰度值之和, 令其为 R , 且二者肯定都大于等于 0, 所以式 (2) 可变为式 (3):

$$\begin{cases} R - M(i,j) \leq D_{\text{SAD}}(i,j) \\ M(i,j) - R \leq D_{\text{SAD}}(i,j) \end{cases} \quad (3)$$

设在模板与第 (i^*, j^*) 个子图匹配时最优, 性能指标记作 $D_{\text{SAD}}(i^*, j^*)$, 所以有判定式 (4):

$$D_{\text{SAD}}(i,j) \leq D_{\text{SAD}}(i^*, j^*) \quad (4)$$

结合式 (3) 可以简化为式 (5):

$$\begin{cases} R - M(i,j) \leq D_{\text{SAD}}(i^*, j^*) \\ M(i,j) - R \leq D_{\text{SAD}}(i^*, j^*) \end{cases} \quad (5)$$

将式 (5) 合并为式 (6):

$$R - D_{\text{SAD}}(i^*, j^*) \leq M(i,j) \leq R + D_{\text{SAD}}(i^*, j^*) \quad (6)$$

可见对于第 (i,j) 个子图与模板的匹配, 只需要判断该子图的灰度值和是否满足上式即可, 式 (6) 中 $D_{\text{SAD}}(i^*, j^*)$ 与 R 都是已知值, 该子图的灰度值和 $M(i,j)$ 可以提前求出, 若满足上式, 说明该处子图与模板更匹配, 则计算该处的 $D_{\text{SAD}}(i,j)$ 代替 $D_{\text{SAD}}(i^*, j^*)$; 若不满足, 则说明该处子图不如前面的最优子图与模板匹配, 跳过并进行下一个子图的匹配。因为原图的所有子图中只有少量子图能与模板匹配, 所以大部分匹配都是无效的, 可以快速滤除掉而不用具体计算其 $D_{\text{SAD}}(i,j)$, 从而加快计算速度。

该算法是一种依赖于数据的优化算法, 优化速度与模板、图像等相关, 其阈值 $D_{\text{SAD}}(i^*, j^*)$ 的选择尤为关键, 记阈值 $D_{\text{SAD}}(i^*, j^*)$ 为 T_{SEA} , 但该算法在匹配刚开始时却要人为指定该阈值 T_{SEA} , 人为指定的阈值没有标准且不准确, 所以本文基于此提出了自动化阈值的方法来进行算法的进一步优化。通过上一段文字说明可知, 在匹配过程中该阈值

T_{SEA} 其实就是当前匹配与模板最合适的那个图形的 D_{SAD} 值, 与原图数据有很强关联性, 所以本文直接将第 1 次匹配时的 $D_{\text{SAD}}(1,1)$ 当作初始阈值 T_{SEA} 代替人为选择, 使初始阈值的选择更合理, 更适用于原图的模板匹配, 在以后子图的匹配过程中, 若第 (i,j) 个子图的 $M(i,j)$ 满足 (6) 式, 则计算该子图的 $D_{\text{SAD}}(i,j)$ 代替 T_{SEA} , 否则阈值 T_{SEA} 不变, 直到最后一个子图匹配, 如式 (7), 以此达到阈值的自动化选取。

$$\begin{cases} T_{\text{SEA}} = D_{\text{SAD}}(i,j), & \text{if (6)式 s.t.} \\ T_{\text{SEA}} \text{不变}, & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

1.2 十字灰度特征模板+提前停止迭代策略的算法改进

在计算模板与子图进行匹配时, 不必所有的像素点都参与匹配进程, 本文采用十字型灰度特征^[9]模板来代替传统模板匹配时的模板。因为模板中灰度值变化比较小的地方涵盖的灰度信息越少, 反之, 灰度值变化剧烈的地方涵盖的灰度信息越多, 所以选取模板中方差最大 (所含信息最丰富) 的行和列组成十字灰度特征来与各子图对应的十字特征进行匹配运算, 如图 1 所示。方差易于计算且能很好表示信息的复杂程度, 十字方差特征易于实现, 且可以描述图像的二维灰度分布。

$D_{\text{SAD}}(i,j)$ 的计算方式由式 (1) 变为式 (8), 模板与子图匹配过程中的复杂度明显由 $O(M \times M)$ 变成了 $O(2 \times M)$ 。

$$D_{\text{SAD}}(i,j) = \sum_{m=1}^M |S_{i,j}^k(m) - T^k(m)| + \sum_{m=1}^M |S_{i,j}^q(m) - T^q(m)| \quad (8)$$

式中: k, q 表示模板方差最大的行和列; $S_{i,j}^k(m)$ 表示第 (i,j) 个子图中第 k 行的第 m 个像素值; $T^k(m)$ 表示模板方差最大的行即第 k 行的第 m 个像素值, 同理后面是第 q 列的相关值。该式表示模板 T 与第 (i,j) 个子图 $S_{i,j}$ 在十字灰度特征上的误差计算, 最后得到 $D_{\text{SAD}}(i,j)$ 即性能指标。

在计算模板与子图的十字灰度特征匹配过程中的误差指标 $D_{\text{SAD}}(i,j)$ 时, 采用提前停止搜索的策略, 设定一个每次匹配时的累计误差阈值 T_{error} , 若在第 (i,j) 次匹配时, 当在计算 $D_{\text{SAD}}(i,j)$ 过程中, 误差值大于等于阈值 T_{error} 时如式 (9), 则该次匹配剩余的灰度值便不参与运算, 后转向下一个子图匹配, 由于很多子图与模板不匹配处差异都非常大, 很容易就达到阈值 T_{error} , 从而跳过明显不是目标子图的子图, 加快算法速度。

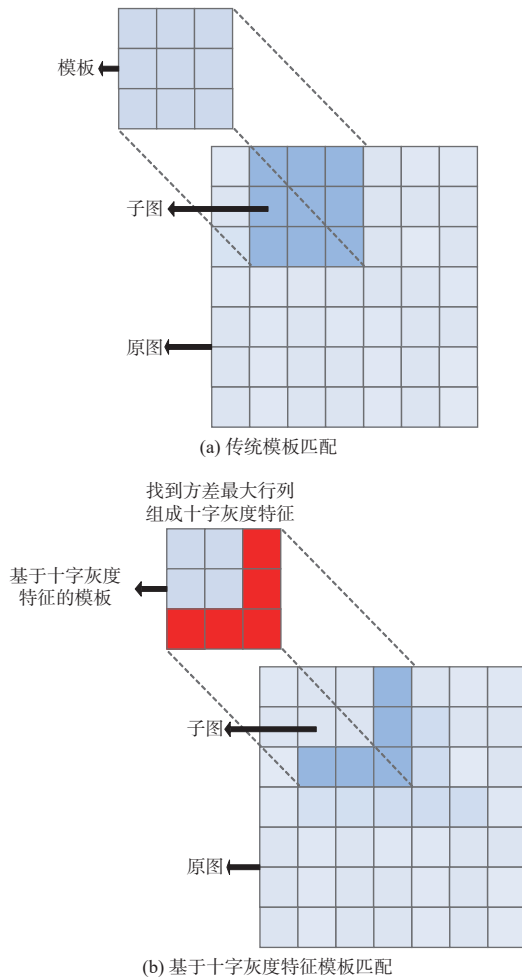


图 1 十字灰度特征改进的模板匹配

Fig. 1 Template matching with improved cross gray scale features

$$\sum_{m=1}^H |S_{i,j}^k(m) - T^k(m)| + \sum_{m=1}^H |S_{i,j}^q(m) - T^q(m)| \geq T_{\text{error}} \quad (9)$$

式中: $0 \leq H \leq M$, 表示是在计算某次 $D_{\text{SAD}}(i, j)$ 匹配过程中累计的 SAD 误差值, 当该误差值大于等于阈值 T_{error} 时, 便提前停止该次匹配, 转向下一个子图匹配即可。

1.3 粗-精金字塔搜索策略

在进行图像处理时, 可以采用粗-精的搜索策略, 常见的即为图像金字塔模型, 先对原图与模板不断进行下采样得到某层的低分辨率图像, 在该层的低分辨率图像与模板上进行模板匹配, 匹配到正确结果后, 映射回原图区域, 为保证结果的准确性, 常常映射到匹配区域的填充区域^[10], 在此区域进行匹配得到最终结果, 显然该算法可以实现降维处理, 加快匹配速度。常用的金字塔模型有高斯金字塔和小波金字塔。

小波金字塔是基于离散小波变换的金字塔结构, 把图像看作二维信号来处理。在频率域中把图像分解为高频信号和低频信号, 高频信号即图像灰度突变处如边缘、噪点等; 低频信号即图像灰度平滑处, 为图像的大部分信息, 梯度不会突变, 其对图像分解时会把图像分解为 4 个子图, 即低频信息的近似图及高频信息的水平、竖直、对象线细节^[11], 结果如图 2 所示, 分解完成后, 对低频信息部分即图 2 左上角继续分解形成小波金字塔, 分解时分解层数不宜过多, 否则会因多次下采样造成图片损失, 使得匹配回原分辨率图像时的匹配结果不准确, 一般选择在 3~5 层, 可依据式 (10) 求得最佳分解层数 O ^[12-13]。

$$O = \min\{\log_2 l, 5\} \quad (10)$$

式中: l 为图片长和宽中的最小尺寸。

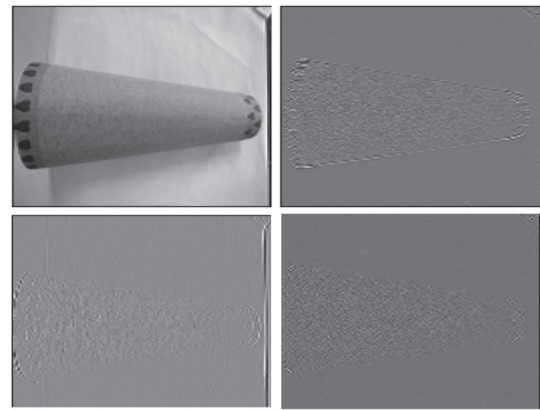


图 2 小波金字塔分解示意图

Fig. 2 Schematic of wavelet pyramid decomposition

1.4 多联融合优化模板匹配算法流程

本文采用了多联算法融合以及三次数据滤除降维加快匹配速度。图 3 为该算法流程图。首先进行第 1 次数据降维来改变搜索空间, 对模板与原图进行金字塔分解, 找到合适的分解层数, 对该层的模板与图片进行匹配; 然后进行第 2 次数据滤除, 在模板与子图的十字特征匹配的过程中首先利用改进的自动阈值 SEA 算法, 对所有子图中大部分不匹配子图进行滤除, 进一步缩小搜索范围, 对符合条件的子图采用灰度十字特征计算 SAD 指标, 并采用提前停止搜索迭代的思想进行第 3 次数据滤除, 滤除掉误差指标过大的子图, 最后得到剩下的目标子图, 取 SAD 最优值对应的第 (i^*, j^*) 个最优子图后映射回原图, 为保证结果更加准确, 映射回原图后取最优子图附近的一部分像素, 在该区域重新匹配得到最优值。

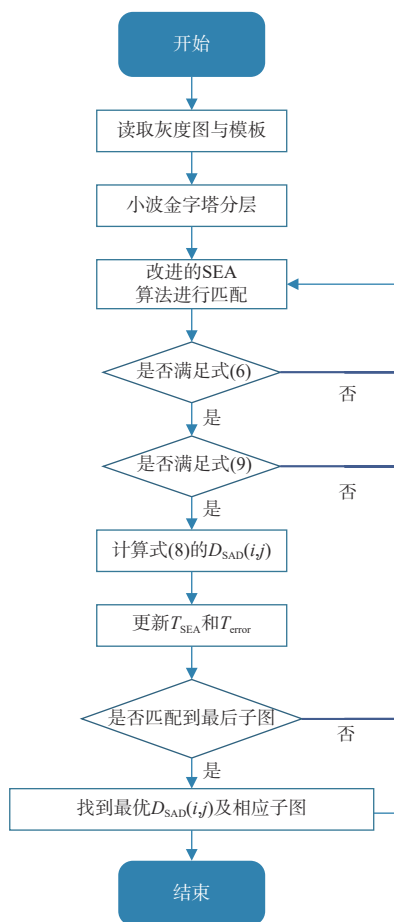


图3 算法流程图

Fig. 3 Flow chart of algorithm

2 实验结果与分析

为了证明所提算法的有效性, 基于 Windows10 操作系统, 处理器采用 AMD Ryzen 7 5800X 8-Core Processor 3.80 GHz, 内存 16 GB, 使用 C++ 编码进行实验。

2.1 匹配精度分析

为验证所提算法准确性, 本文采用笑脸图案圆锥纱纸管进行实验 (原图为 256×256 像素, 模板为其底部图案 150×30 像素), 对于匹配算法的精度而言, 原 SAD 算法为高精度算法, 所以本文的改进算法与其对比即可, 实验结果如图 4。

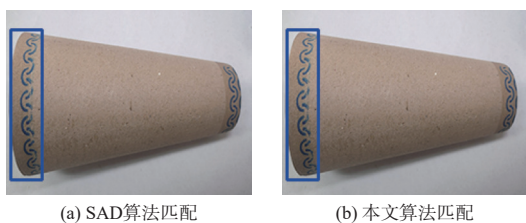
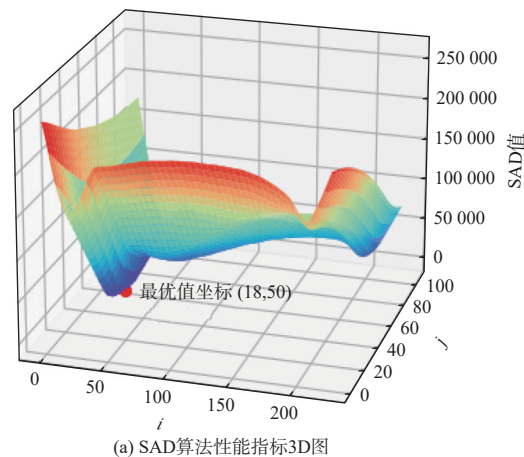


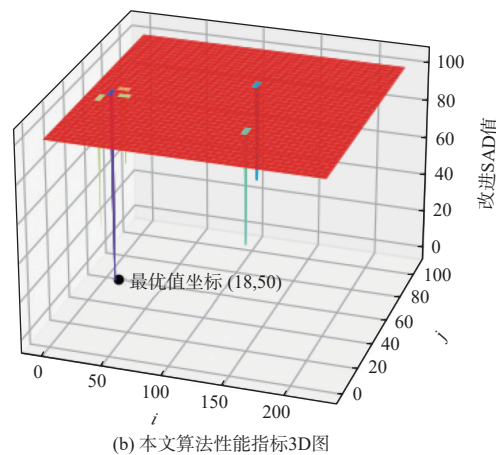
图4 匹配效果对比图

Fig. 4 Comparison images of matching effect

为进一步说明, 分别做出两个算法所得到的性能指标 $D_{SAD}(i, j)$ 的三维图, 如图 5 所示, 表示了不同 (i, j) 位置下各子图的性能指标值。



(a) SAD算法性能指标3D图



(b) 本文算法性能指标3D图

图5 匹配指标的3D对比图

Fig. 5 3D comparison diagrams of matching indicators

SAD 算法性能指标 $D_{SAD}(i, j)$ 为图 5(a), 其为耗型算法在全局域搜索, 得到的最优解一定为全局最优解, 所以准确率极高, 但是在全局域搜索计算会不可避免地浪费大量运算时间, 因此该算法速度慢, 无法用于实时场合。图 5(b) 为本文改进算法的 $D_{SAD}(i, j)$ 性能指标, 可见原图绝大部分子图数据都不符合阈值条件, 被降维滤除, 没有进行搜索, 其 $D_{SAD}(i, j)$ 为初始值 (本文设为 100) 不变, 只有少部分区域进行了匹配, 算法速度大大提高, 得到了最优解, 且算法精度与前者一致, 说明了本文算法的准确性。

下面对添加噪音后的圆锥纱纸管图片以及有缺陷的圆锥纱纸管图片进行匹配, 原图 (从左到右依次为带高斯噪音、带椒盐噪音、图案缺失图) 及匹配结果如图 6 所示。可见, 本文算法对噪音及部分缺陷敏感度低, 鲁棒性强, 精度高, 适用于工业

场景,在后续主要进行匹配速度实验,不必再对带噪音及缺陷的圆锥纱纸管进行准确性验证。

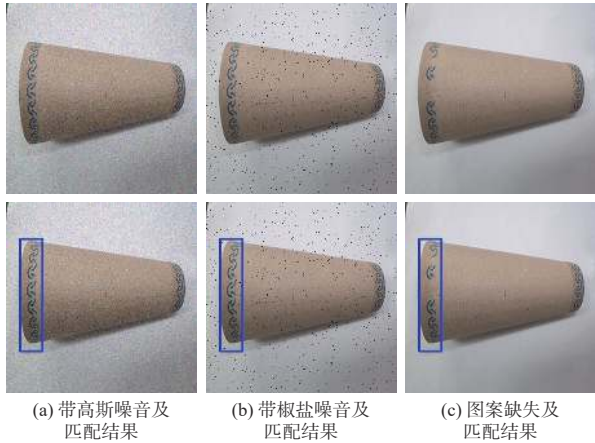


图 6 本文算法在带噪音及缺陷图片上的匹配结果
Fig. 6 Matching results of proposed algorithm on images with noise and defects

2.2 匹配速度分析

算法采用经典 SAD、SEA 和本文所提算法,原图采用心形、圆形、笑脸图案圆锥纱纸管以及高分辨率的心形图案纱纸管进行模板匹配,且匹配前 3 个时,图像各个算法采用的原图与模板大小均一致,由于各个算法精度都很高,匹配均成功,这里只展示本文所提算法的匹配结果即可,如图 7 所示。各算法的实验匹配结果如表 1 所示。

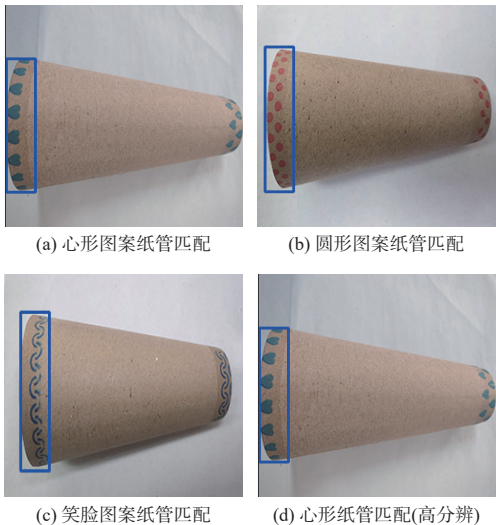


图 7 本文算法匹配结果
Fig. 7 Matching results of proposed algorithm

由表 1 可以看出本文所提算法速度远远快于传统的 SAD、SEA 算法,在一般图片上达到了 0.1 s 左右,满足实时要求,比传统 SAD 算法速度提升了

近 11 倍;第 4 幅心形图案圆锥纱纸管图片为高分辨率图像,尺寸为 1280×1280 像素,匹配时可以看出传统的 SAD、SEA 算法速度很慢,鲁棒性较差,而本文所提算法依然可以达到实时需求,对不同大小的输入图片鲁棒性更强。

表 1 各算法实验结果

Table 1 Experimental results of each algorithm s

| 图片 | SAD | SEA | 本文算法 |
|---------------|-------|-------|-------|
| 心形图案纱纸管 | 1.372 | 1.203 | 0.126 |
| 圆形图案纱纸管 | 1.382 | 1.215 | 0.128 |
| 笑脸图案纱纸管 | 1.318 | 1.209 | 0.125 |
| 心形图案纱纸管(高分辨率) | 30.5 | 22.46 | 0.920 |

2.3 消融实验

针对改进前后的算法设置了消融实验,以验证本文所提的各种改进算法及策略的有效性。图像采用心形图案圆锥纱纸管进行实验(原图为 256×256 像素,模板为其底部图案 150×30 像素),实验结果如表 2 所示,各改进算法在精度上与精度最高的原 SAD 算法一致,都匹配到了最佳的子图位置(0,60),保证了算法高精度。进行匹配速度分析,先对传统的经典算法 SAD 进行模板匹配实验,得到匹配时间,再对其优化算法 SEA 进行匹配实验,可见 SEA 优化算法匹配速度比传统 SAD 算法提升了 1.1 倍;在 SEA 基础上改进其阈值为自动阈值,改进后的匹配速度比 SAD 匹配速度提升 1.6 倍,效果明显;然后融合十字灰度特征模板以及本文所提的根据误差阈值提前停止迭代的策略后,匹配速度比 SAD 提升了约 5 倍;最后加上小波金字塔后,算法匹配速度比 SAD 提升了约 11 倍,速度显著提升,证明了本文所提算法的有效性。

表 2 消融实验

Table 2 Ablation experiment

| 匹配算法 | 匹配位置/pixel | 匹配时间/s |
|----------------------|------------|--------|
| 算法1: SAD | (0,60) | 1.372 |
| 算法2: SAD优化算法SEA | (0,60) | 1.293 |
| 算法3: SEA+自动阈值 | (0,60) | 0.865 |
| 算法4: 算法3+十字灰度特征及误差阈值 | (0,60) | 0.274 |
| 算法5: 算法4+小波金字塔 | (0,60) | 0.126 |

2.4 对比实验

为进一步验证本文所提算法的性能及优越性,将该方法与经典算法及其他论文中的算法进行对比实验,实验采用笑脸图案圆锥纱纸管进行匹配

(原图为 256×256 像素, 模板为其底部图案 150×30 像素), 得到如表 3 所示实验结果。

表 3 对比实验
Table 3 Comparison experiment

| 匹配算法 | 匹配位置/pixel | 匹配时间/s |
|------------------------------------|------------|--------|
| NCC | (0,60) | 2.269 |
| 基于动态规划和降采样的 NCC 算法 ^[14] | (2,56) | 0.672 |
| 自适应步长模板匹配算法 ^[15] | (0,60) | 0.368 |
| SSDA+粗精策略匹配算法 ^[16] | (0,60) | 0.579 |
| 本文所提算法 | (0,60) | 0.126 |

由表 3 可知, 本文算法在精度上, 与经典算法 NCC 一致, 都匹配到了最佳子图位置 (0,60), 比所提基于动态规划和降采样的 NCC 算法^[14] 精度更高, 与自适应步长模板匹配算法^[15] 和 SSDA+粗精策略匹配算法^[16] 精度一致, 证明了该算法的高精度性; 本文算法在匹配速度上, 比经典的 NCC 算法快约 18 倍, 比其他文献方法速度提升了约 3~5 倍, 表明了本文算法的优越性、快速性。

3 结论

针对现有图像处理方法无法兼顾高速率、高精度以及深度学习成本大、部署难、硬件要求高等问题, 本文提出了一种多联融合优化模板匹配的纱纸管分类算法, 融入小波金字塔进行数据降维, 改进了 SEA 算法, 并在匹配时采用十字灰度特征模板代替传统模板, 大大减少了计算量, 最后采用提前停止搜索的策略对误差过大的子图进行有效滤除得到最优解。经过一系列消融、对比实验, 表明了本文算法可以在保证精度的前提下更快速地对圆锥纱纸管进行自动分类, 算法的速度性能较经典算法提升了近 11 倍, 达到了工业实时要求, 且对于高分辨率、噪音、缺陷图像也有很强的鲁棒性, 部署简单且硬件成本低, 可应用于工业场景下圆锥纱纸管的自动识别分类。在后续工作中, 可以采用更加有效的灰度特征来代替十字特征, 并可使用准确率更高的 NCC 算法代替基础 SAD 算法来匹配复杂环境, 还可对该算法进行硬件设计以进一步提升其速度, 使其能在相关领域产生更大效益。

参考文献:

[1] 郭明瑞, 韩晨晨, 卢雨正, 等. 浅谈纺纱流程智能化发展

的现状[J]. 棉纺织技术, 2020, 48(5): 81-84.
GUO Mingrui, HAN Chenchen, LU Yuzheng, et al. Discussion of spinning process intelligent development status[J]. Cotton Textile Technology, 2020, 48(5): 81-84.
[2] DESAI B K, POTDAR D, PATEL M P. Template matching technique using enhanced SAD technique[J]. International Journal of Engineering Research & Technology, 2014, 3(5): 1371-1376.
[3] 冯炜. 图像匹配算法研究[D]. 重庆: 重庆师范大学, 2011.
FENG Wei. Image matching algorithms research[D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2011.
[4] LIU B, FAN Y, ZHANG L, et al. Image matching algorithm based on improved SSDA[C]// 2021 IEEE 4th International Conference on Electronics Technology (ICET). New York: IEEE, 2021: 1290-1294.
[5] 于晓东, 陈幼平, 李安定, 等. 基于投影特征的快速图像匹配算法[J]. 机械与电子, 2013(3): 41-44.
YU Xiaodong, CHEN Youping, LI Anding, et al. Fast image matching algorithm based on projection[J]. Machinery & Electronics, 2013(3): 41-44.
[6] 王振江, 吴健, 林方全. 一种结合快速灰度投影与 SSDA 的图像匹配方法[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(33): 195-197.
WANG Zhenjiang, WU Jian, LIN Fangquan. Image matching method based on fast gray value projection and SSDA[J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(33): 195-197.
[7] 王立新, 刘彤宇, 李阳. SSDA 图像匹配算法的研究及实现[J]. 光电技术应用, 2005, 20(3): 53-55.
WANG Lixin, LIU Tongyu, LI Yang. Research and implementation of SSDA[J]. Electro-Optic Technology Application, 2005, 20(3): 53-55.
[8] 刘磊, 王志良, 刘冀伟, 等. 一种改进的快速全局运动估计算法[J]. 计算机工程, 2010, 36(20): 28-31.
LIU Lei, WANG Zhiliang, LIU Jiwei, et al. Improved fast global motion estimation algorithm[J]. Computer Engineering, 2010, 36(20): 28-31.
[9] 陈皓, 马彩文, 陈岳承, 等. 基于灰度统计的快速模板匹配算法[J]. 光子学报, 2009, 38(6): 1586-1590.
CHEN Hao, MA Caiwen, CHEN Yuecheng, et al. Fast template matching arithmetic based on image gray statistic[J]. Acta Phoyonica Sinica, 2009, 38(6): 1586-1590.
[10] 郑剑斌, 郑力新, 朱建清. 一种基于灰度的快速模板匹

- 配方法[J]. 现代计算机(专业版), 2018(26): 52-56.
- ZHENG Jianbin, ZHENG Lixin, ZHU Jianqing. A fast template matching method based on gray level[J]. Modern Computer, 2018(26): 52-56.
- [11] 吴鹏, 徐洪玲, 宋文龙. 结合小波金字塔的快速NCC图像匹配算法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2017, 38(5): 791-796.
- WU Peng, XU Hongling, SONG Wenlong. A fast NCC image matching algorithm based on wavelet pyramid search strategy[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2017, 38(5): 791-796.
- [12] WANG Y, WU D. An improved adaptive SSDA based on wavelet-pyramid[J]. AIP Conference Proceedings, 2017, 1834(1): 040022.
- [13] 朱程辉, 何勇, 王金玲. 基于小波金字塔的快速图像匹配算法[J]. 微计算机信息, 2010, 26(10): 127-128.
- ZHU Chenghui, HE Yong, WANG Jinling. A fast stereo matching algorithm based on wavelet pyramid[J]. Micro-computer Information, 2010, 26(10): 127-128.
- [14] CUI Z, QI W, LIU Y. A fast image template matching algorithm based on normalized cross correlation[J]. Journal of Physics, 2020, 1693(1): 012163.
- [15] 李子印, 许斌, 陈立峰. 基于自适应步长选择的NCC图像匹配算法[J]. 光电工程, 2013, 40(10): 77-84.
- LI Ziyin, XU Bin, CHEN Lifeng. Normalized cross correlation image matching algorithm based on adaptive step size[J]. Opto-Electronic Engineering, 2013, 40(10): 77-84.
- [16] 刘晓光, 陈曦, 陈政伟, 等. 基于图像灰度的SSDA匹配算法[J]. 航空计算技术, 2010, 40(1): 54-57.
- LIU Xiaoguang, CHEN Xi, CHEN Zhengwei, et al. Research on SSDA matching algorithm based on image grey scale[J]. Aeronautical Computing Technique, 2010, 40(1): 54-57.