

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2209920

融合装配特征和回归分析的锯链图像分割算法*

陈励威¹ 刘苏苏^{1,2} 袁辉² 瞿畅¹ 张福豹¹ 赵春峰²

(1.南通大学机械工程学院 南通 226019; 2.硕与硕(江苏)智能科技有限公司 南通 226499)

摘要: 准确分割牵引运动下的开环锯链图像是锯链缺陷自动化检测的关键,为实现锯链图像中各零件的精准分割,本文提出一种融合装配特征和回归分析的锯链图像分割算法。首先通过分析锯链装配特征,使用霍夫圆检测算法初步获取锯链图像中铆钉的位置信息;然后建立基于最小二乘法的异常点剔除方法,并通过相邻铆钉的位置判断漏检铆钉,解决霍夫圆检测过程的误检与漏检问题;接着对相邻铆钉区域的像素坐标进行仿射变换,实现锯链图像中刀片、连接片、传动片部分的分割;最后搭建实验平台,通过双工位相机采集图像对算法进行验证。实验结果表明,该锯链分割算法可准确、快速分割正常和缺陷锯链图像,锯链分割准确率达94.4%,对类似产品自动化检测具有较好的借鉴意义和实用价值。

关键词: 锯链;图像分割;霍夫圆检测;仿射变换;最小二乘拟合

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.99

Saw chain image segmentation algorithm fusion assembly
features and regression analysisChen Liwei¹ Liu Susu^{1,2} Yuan Hui² Qu Chang¹ Zhang Fubao¹ Zhao Chunfeng²

(1. School of Mechanical Engineering, Nantong University, Nantong 226019, China;

2. Master and Master (Jiangsu) Intelligent Technology Co., Ltd., Nantong 226499, China)

Abstract: Accurate segmentation of open-loop saw chain images under traction motion is the key to automatic detection of saw chain defects. In order to achieve accurate segmentation of parts in saw chain images, this paper proposes a saw chain image segmentation algorithm that combines assembly features and regression analysis. Firstly, by analyzing the assembly features of the saw chain, the Hough circle detection algorithm is used to initially obtain the position information of the rivets in the saw chain image; then the outlier elimination method based on the least squares method is established, and the missed rivets are judged by the position of the adjacent rivets, so as to solve the problem of false detection and missed detection in the Hough circle detection process; then perform affine transformation on the pixel coordinates of the adjacent rivet area to realize the segmentation of the blade, connecting piece and transmission piece in the saw chain image; finally, an experimental platform is built, and the algorithm is verified by collecting images with a dual-position camera. The experimental results show that the saw chain segmentation algorithm can accurately and quickly segment normal and defective saw chain images, and the saw chain segmentation accuracy rate reaches 94.4%, which has good reference significance and practical value for the automatic detection of similar products.

Keywords: saw chain; image segmentation; Hough circle detection; affine transformation; least squares fitting

0 引言

锯链作为林业木料采集的基础件,具有传递率大、效率高、寿命长的优点,广泛应用于各种工程机械领域。当前,针对锯链缺陷自动化检测的相关研究较少,现有的锯链缺陷自动化检测方法为采用机器视觉的方法采集锯链图像,

通过YOLOv4算法建立特征数识别模型,将模型输出的特征数信息与标准值比对判断是否存在缺陷^[1]。由于锯链结构组成较为复杂,无法对锯链图像中各部分进行有效识别,因而此方法存在缺陷检测精度不高的问题。

随着机器视觉技术的发展,基于机器视觉的工业产品的缺陷检测方法逐步代替了人工检测^[2-5],具有检测速度

收稿日期:2022-05-12

* 基金项目:南通市基础科学研究项目(JC2021200)、南通市社会民生科技计划项目(MS12021022)资助

快,检测精度高的优点。为提高缺陷检测的准确率,在传统图像处理与深度学习^[6-8]技术进行缺陷检测前,将缺陷区域进行分割,剔除背景干扰。如孙光民等^[9]改进了带钢表面图像的预处理过程,采用二值化阈值分割方法,准确定位缺陷。金鹏等^[10]设计了一种自适应铁路扣件分割方法,实现铁路扣件的定位与分割,建立分类器,最终缺陷检测的准确率达到 97.6%。因此,为实现锯链缺陷的自动化检测,需要对采集的复杂锯链图像进行标准化分割,提高后续缺陷检测算法的检测精度。

目前,对于图像的分割方法分为基于传统图像处理的分割方法和基于深度学习的分割方法^[11]。在基于传统图像处理的分割方法中,多采用 Canny 边缘检测、Otsu 二值化阈值来分割图像^[12-15],但只能分割图片中的前景与背景,适用于缺陷图像单一、产品结构简单的情况,不能自动分割锯链各零件部分。采用基于深度学习的分割方法^[16-18]可实现图片场景中像素级的分割,具有普适性,但需要较多的锯链样本,分割成本过高,且存在较大的分割误差。

在锯链图像采集过程中,锯链作为一种柔性装配件,会在尾端出现甩尾情况,需要对甩尾部分进行水平矫正,加大了锯链图像中各零件的分割难度。目前,多采用仿射变换^[19]的方法实现对图像的矫正,如 Konovalenko 等^[20]提出一种基于仿射变换下的光学字符矫正方法,对拍摄的不同角度的字符提取最小化矩形坐标位置,采用仿射变换实现字符图像特征的归一化。He 等^[21]使用仿射变换的方法实现了严重偏斜车牌图像的矫正,将矫正后的车牌图像送入 LPR 网络训练,提高了车牌识别的准确率。

综上所述,不同于现有图像分割方法,本研究提出一种适用于锯链图像的快速分割算法。运用霍夫圆检测算法、最小二乘法、漏检铆钉定位的方法准确定位锯链图像中所有铆钉的圆心位置,对相邻铆钉间区域进行仿射变换,实现锯链图像中各零件的分割和矫正。

1 锯链装配特征及算法流程

1.1 锯链装配特征

锯链作为油锯的装配件,根据使用环境的不同而分为多种型号,但不同型号的锯链都是由刀片、连接片、传动片、铆钉四部分构成。在锯链生产过程中,由于生产水平的限制,会产生包含刀片破损、连接片混料、传动片混料、铆钉漏铆、铆钉铆裂等多种类型的缺陷,为实现对各型号锯链精准的自动化缺陷检测,需要研究一种锯链图像分割算法,对不同型号的锯链进行准确、快速的自动化分割,得到分割后的刀片、连接片、传动片部分的图像,简化图像特征,提高缺陷检测的精度。锯链装配结构及缺陷如图 1(a)~(f)所示。

1.2 算法流程

融合装配特征和回归分析的锯链图像分割算法流程结构如图 2 所示。

其流程具体步骤如下:

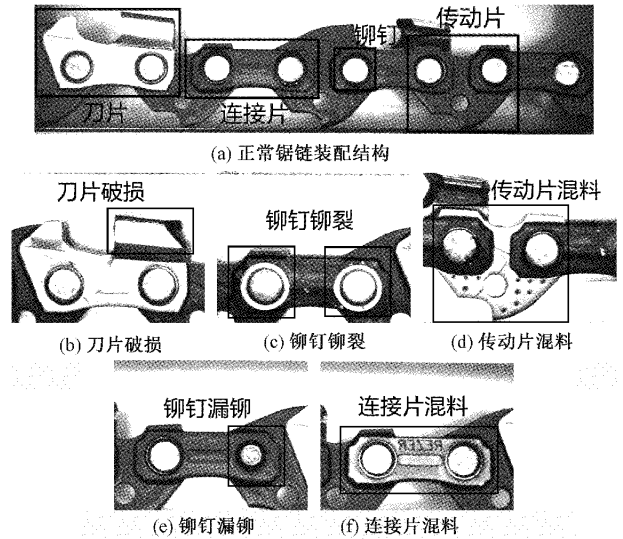


图 1 锯链装配结构及缺陷

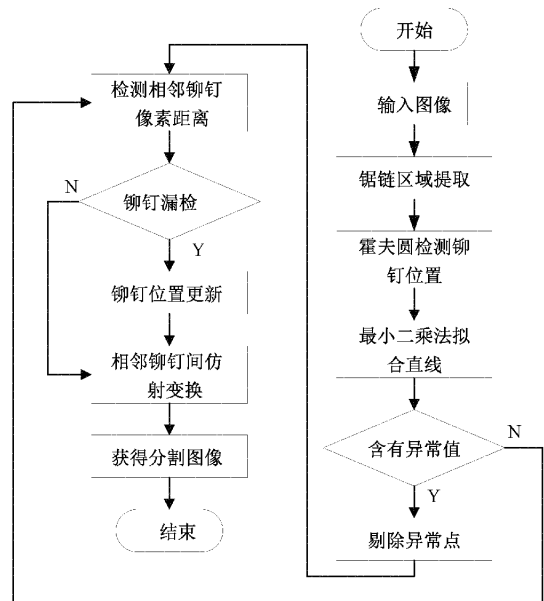


图 2 锯链图像分割算法流程结构

1) 锯链区域提取。将采集到的完整锯链图像二值化后,采取水平投影法确定铆钉区域,提取含有铆钉的锯链区域图像。

2) 霍夫圆检测铆钉位置。将提取的锯链区域图像进行高斯滤波、二值化、边缘检测预处理操作,采用霍夫圆检测算法初步定位图像中铆钉的位置和大小。

3) 剔除异常点。对霍夫圆检测过程中出现错误识别的现象,采用最小二乘法对所有圆心坐标进行直线拟合,计算所有圆心到直线的距离、距离的平均值、距离的标准差,进行异常点分析并剔除异常点。

4) 铆钉位置更新。异常点剔除后,计算相邻铆钉间的距离,若距离超过装配关系,则存在漏检铆钉,计算相邻铆钉的中心点坐标,定位漏检铆钉的位置。

5)分割图像。对锯链图像中铆钉进行准确定位后,计算相邻铆钉区域的最小外接矩形顶点坐标,并计算转换到新的二维坐标系下的仿射矩阵 M , 根据仿射矩阵 M 进行仿射变换,得到分割后的锯链零件图像。

2 锯链图像分割算法

2.1 锯链区域提取

为减小后续霍夫圆检测的误差,需要提取锯链区域,对锯链图像进行二值化处理,采取水平投影法提取含有铆钉的锯链区域图像。二值化图像水平投影过程如图 3 所示,计算图像中每一行的黑色像素点个数,若为黑点则加 1,遍历图像的每一行。通过式(1)可确定含有铆钉区域图像的上边界像素 p_up 、下边界像素 p_down 。

$$H(i) = \sum_{j=0}^{i-1} A(i, j) \quad i \in (1, h) \quad (1)$$

式中: $H(i)$ 为二值化图像水平投影后第 i 行黑色像素点总数, $A(i, j)$ 为二值化图像 A 中第 i 行和第 j 列的像素点, w, h 分别为二值化图像宽、高。

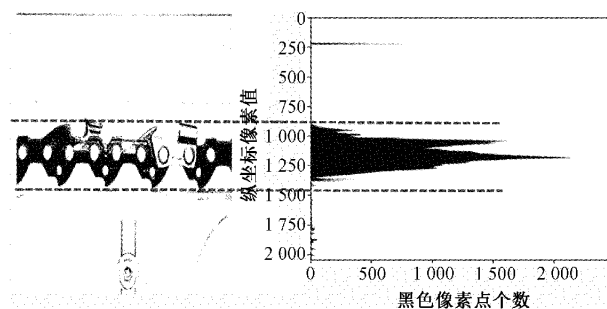


图 3 二值化图像水平投影处理

当 $H(u-1) < N$ & $H(u) > N$ 时,可确定图像上边界像素 $p_up = u$; 当 $H(d) > X$ & $H(d-1) < X$ 时,可确定图像下边界像素 $p_down = d$ 。其中, N, X 都为常量。进行锯链特征区域提取后的图像如图 4 所示。



图 4 提取的锯链区域图像

2.2 霍夫圆检测下的铆钉识别

霍夫圆检测将图像中每一个像素点都视为潜在圆上一点,当二维空间中圆上边缘点对应三维空间中交于一点的曲线数量大于累加器设定的阈值时,便可判断出圆的位置。在锯链图像中,铆钉形状规则且分布均匀,因此可以对铆钉进行霍夫圆检测,通过铆钉的圆心坐标分割锯链图像,简化图像的复杂程度。

首先将提取的锯链区域图像进行高斯滤波后,滤除图像中肉眼不可见的噪声,有利于后期霍夫圆检测算法对铆钉信息的判断。接着,进行 Otsu 二值化阈值分割、边缘检测操作处理,使用二值化分割的阈值确定 canny 边缘检测

的双阈值边缘,提取锯链图像的轮廓。对边缘检测后的图像采用 HoughCircles 函数进行霍夫圆检测,在该函数中采用霍夫梯度的方法检测圆形,设置累加器阈值、圆心之间最小像素距离、检测圆形的最大最小半径,初步得到锯链图像中铆钉的圆心位置。检测效果如图 5 所示,由图 5 可知,对完整锯链图像进行铆钉区域提取后可大大减少霍夫圆检测的异常圆,可较为准确地对铆钉位置进行初步定位。



图 5 霍夫圆检测效果

2.3 异常点剔除

运用霍夫圆检测锯链图像中铆钉位置时,较容易出现错误识别为铆钉的异常圆,若不剔除异常点会导致在后续分割过程中图像产生严重的倾斜,含有异常点的锯链图像如图 6 所示。锯链中铆钉位置相对固定,所有铆钉基本成一条直线附近,因此,采用最小二乘法对锯链图像中的铆钉进行直线拟合,剔除异常点。



图 6 含有异常点的锯链图像

最小二乘法作为直线拟合的常用方法,对 i 组离散值 $[(x_1, y_1), \dots, (x_i, y_i)]$ 建立一元线性回归方程 $y = kx + b$,使所有点的误差平方和最小,确定斜率 k 和常数 b 的值,最终确定拟合的直线。误差平方和的表达式为 $a = \sum ((y_i - kx_i - b)^2)$, 分别对 k, b 求得:

$$\frac{da}{dk} = \sum (k \times x_i^2 + bx_i - x_i \times y_i) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{da}{db} = \sum (k \times x_i + b - y_i) = 0 \quad (3)$$

本文将图 6 中霍夫圆检测到的铆钉圆心坐标转换到二维坐标空间下,使用最小二乘法拟合锯链图像中所有铆钉信息,如图 7 所示,得到直线 $y = kx + b$, 计算每个坐标点到直线的垂直距离 d_i 、距离的平均值 $means$ 、距离的标准差 std , 相关计算公式如下:

$$\begin{cases} d_i = \frac{|y_i - k \times x_i - b|}{\sqrt{k^2 + 1}} \\ means = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i \\ std = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d_i^2} \end{cases} \quad (4)$$

由图 7 可知,异常点与直线的垂直距离远大于正常点与直线的距离,因此,可判定霍夫圆检测误检的异常点属于粗大误差。通常以 3σ 准则判定粗大误差, 3σ 准则如下:

$$|d_i - means| \leq 3 \times std \quad (5)$$

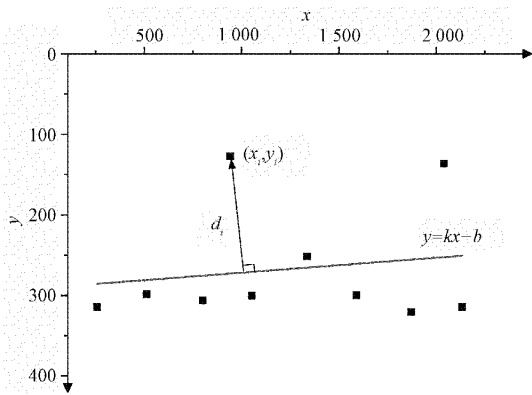


图 7 最小二乘法拟合直线

3σ 准则是以测量次数充分大为前提,当测量值不满足式(5)所示条件时,则被当做粗大误差剔除。但一幅锯链图像中,铆钉数量较少,所求得该幅图像的标准差不满足 3σ 准则。本文选取含有异常点的锯链图像、没有异常点的锯链图像各 50 幅,以 3σ 准则作为近似准则,求取不同倍数标准差下剔除异常点的图像数量、剔除正常点的图像数量,结果如图 8 所示。

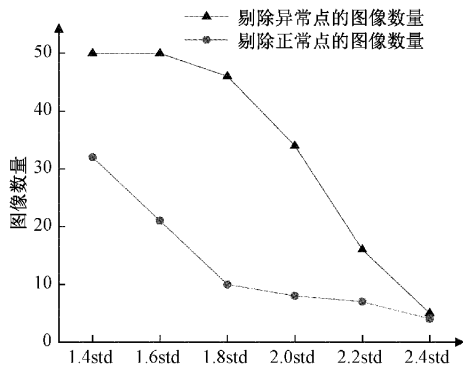


图 8 不同倍数标准差下剔除正、异常点的图像数量

由图 8 可知,当为 1.4 倍标准差和 1.6 倍标准差时,算法剔除了所有含有异常点的图像,由于图像中铆钉分布在近似直线附近,存在一定范围的波动,标准差倍数设置过小导致大量图像中的真实铆钉被剔除,不利于铆钉位置的准确判断;当为 1.8 倍标准差时,算法剔除了 46 幅含有异常点的锯链图像,并且只有 10 幅图像中正常铆钉位置被剔除;随着标准差倍数的逐渐增大,虽然锯链图像中正常铆钉位置被错误剔除的数量逐渐减少,但异常点剔除效果愈发不明显。因此,对大量图像数据进行多次试验计算与数据统计后,得出具体约束条件。当第 i 个坐标点不满足式(6)所示的条件时,则被当做异常点剔除。剔除异常点后的锯链图像如图 9 所示。

$$|d_i - means| \leq 1.8 \times std \quad (6)$$

2.4 漏检铆钉定位

如图 10 所示,霍夫圆检测铆钉过程中,存在漏检铆钉的现象,最小二乘法只能剔除异常值,而不能判断漏检铆钉



图 9 异常点剔除后的检测图像



图 10 霍夫圆检测算法导致铆钉漏检的图像

的位置。

针对霍夫圆检测算法的漏检情况,为定位漏检铆钉位置,本文选择从锯链本身装配关系入手,计算相邻铆钉间的像素距离:

$$D = \sqrt{(a_1 - a_2)^2 + (b_1 - b_2)^2} \quad (7)$$

式中: (a_1, b_1) 、 (a_2, b_2) 分别为相邻铆钉圆心的像素坐标, D 为相邻铆钉圆心坐标的欧氏距离。

当 $D > \lambda$ 时,则认为存在漏检铆钉,对大量锯链图像进行试验后,确定 $\lambda = 400$ 。通过计算相邻铆钉间中心点坐标确定漏检铆钉位置,则漏检铆钉位置为 $(\frac{a_1 + a_2}{2}, \frac{b_1 + b_2}{2})$ 。

通过计算得到的漏检铆钉位置与该铆钉实际位置误差如表 1 所示。由表 1 可知,计算得到的铆钉位置与实际位置的平均误差为 20.62 个像素值,铆钉的半径为 45~55 个像素值,误差值小于铆钉半径。结果表明,计算得到的漏检铆钉圆心位置位于实际铆钉的圆形区域内,故该漏检铆钉定位方法可较为准确地定位漏检铆钉的位置。

表 1 漏检铆钉定位误差(单位:pixel)

	实际漏检铆钉位置	漏检铆钉定位位置	误差
1	(1 557.5,308.5)	(1 575.5,298.0)	20.84
2	(843.5,109.5)	(832.0,117.5)	14.01
3	(408.5,107.5)	(393.5,125.5)	23.43
4	(1 774.5,246.5)	(1 783.5,273.0)	27.99
5	(1 724.5,296.5)	(1 705.0,290.5)	20.40
6	(514.5,280.5)	(525.5,287.5)	13.04
7	(1 169.5,278.5)	(1 193.5,284.0)	24.62

2.5 仿射变换下的锯链图像分割

由于锯链尾端在图像中易出现甩尾的情况,若直接对锯链图像进行分割,会导致分割后锯链零件图像的空间位置与未出现甩尾的锯链不一致,不利于后续缺陷检测,因此采用仿射变换分割锯链图像。为获取仿射变换的区域,首先计算相邻铆钉间最小外接矩形框的顶点坐标,将识别到的铆钉位置转换到原始锯链空间的像素坐标下;计算相邻铆钉的中心点坐标、相邻铆钉间直线与水平方向的夹角 θ ,设置矩形框宽、高,采用 cv2.boxPoints 函数得到相邻铆钉

间最小外接矩形的顶点坐标。由锯链实际尺寸得到矩形框宽、高分别为550像素、480像素。计算得到锯链图像中甩尾部分的矩形框如图11所示。

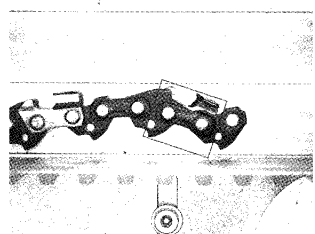


图11 锯链甩尾部分最小外接矩形框标注

仿射变换本质是图像经过旋转、平移操作后,转换到新的二维坐标系下的过程,根据计算得到的仿射矩阵进行仿射变换,可实现锯链图像中各零件部分的分割。仿射变换过程如图12所示。

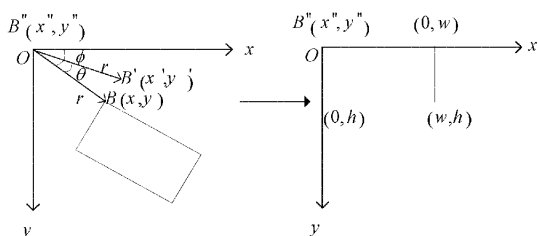


图12 仿射变换下二维坐标转换

矩形框顶点 $B(x, y)$ 为经过计算后的最小外接矩形顶点坐标, B 点与 x 轴夹角为 ϕ , 仿射变换中首先将 B 点围绕原点 o 旋转 θ 角度得到 $B'(x', y')$ 点, 由式(8)得到坐标点 B, B' 间关系, 进一步计算得到仿射矩阵 M' :

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = M' \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

再次将坐标点 B' 经过平移 $(\Delta x, \Delta y)$ 得到最终变换的坐标点 $B''(x'', y'')$, 通过式(9)计算最终的仿射矩阵 M :

$$\begin{bmatrix} x'' \\ y'' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & \Delta x \\ \sin\theta & \cos\theta & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

在图12中将转换后的二维坐标 B'' 点设置为坐标轴原点, 其余三点分别对应 $(0, w), (0, h), (w, h)$, 仿射变换后矩形区域的宽 w 、高 h 分别为550、480, 转换后的矩形区域大小与转换前矩形区域大小相同。仿射变换中, 通过对矩形框三组顶点坐标的转换, 实现了锯链图像中零件的分割。图11中矩形框区域经仿射变换后的分割图像如图13所示, 由图13可知, 在准确定位锯链图像中铆钉位置后, 对甩尾部分的相邻铆钉计算直线与水平方向的夹角, 通过夹角、矩形尺寸确定最小外接矩形的顶点坐标, 在仿射变换中设置转换后矩形顶点在二维空间中的坐标点, 通过计算最终的仿射矩阵进行仿射变换, 实现了锯链图像中甩尾部分的水平矫正。



图13 仿射变换的分割图像

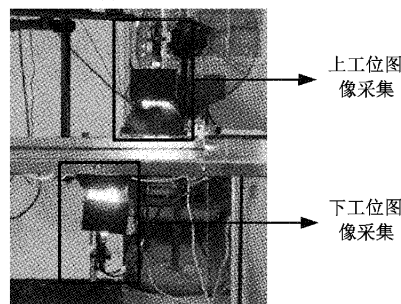
3 实验与结果讨论

3.1 图像采集平台搭建

在锯链生产过程中, 企业依靠人工肉眼观察来检测锯链表面缺陷, 筛选不合格产品。为实现生产过程中对锯链缺陷的智能化检测, 本文设计和搭建了锯链图像采集平台, 其图像采集平台台面如图14(a)所示。图像采集部分主要由 CCD 面阵相机和光源组成, 为保证所拍图像清晰且易于检测, 采用同轴光加碗光的组合光源形式, 同时设计图14(b)中上下两个工位完成对锯链两侧图像的采集。



(a) 图像采集平台台面组成



(b) 双工位图像采集装置

图14 锯链图像采集平台

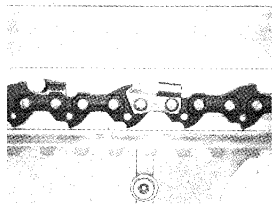
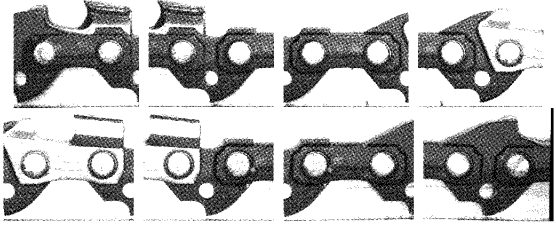
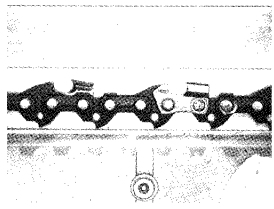
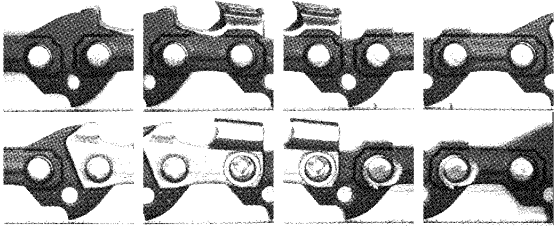
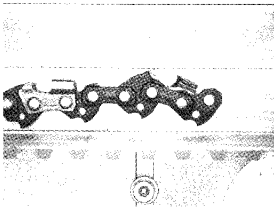
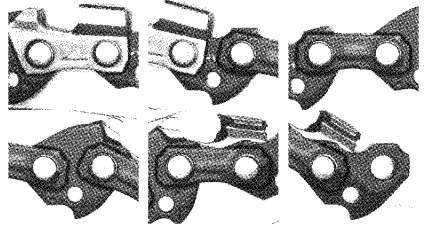
平台检测流程如下: 系统通电后, 同步带在电机的驱动下, 每次牵引开环锯链行走固定距离, 当同步带运行固定距离后, PLC 触发 CCD 相机采集完整锯链图像。取像时, 电机停止转动 0.2 s, 避免图像出现失帧、模糊的情况。工控机将采集的锯链图像分割后进行缺陷检测, 若当前分割图像无缺陷, 则继续检测下一张分割图像; 若存在缺陷, PLC 接收软件发送的 NG 信息, 控制喷码器在缺陷位置喷码标记。

3.2 图像分割效果

本实验算法是在 Windows 操作系统下,基于 Opencv 计算机视觉库,采用 python 语言进行编写和测试,表 2 列出了使用本文算法分别对采集到的正常锯链图像、缺陷锯链图像、甩尾锯链图像的分割效果图。由表 2 可知,本文算法可完整分割锯链每个部分,缺陷锯链分割的是带有铆钉铆裂缺陷的锯链图像,霍夫圆检测过程中可识别正常铆钉和带有缺陷铆钉的圆心位置,在最小二乘法拟合铆钉信

息后,剔除了异常值,并且通过求取相邻铆钉间的像素距离,判断是否有漏检测的铆钉位置,若存在漏检铆钉,则计算漏检铆钉的像素坐标,实现对铆钉位置的准确识别。在甩尾图像中,计算相邻铆钉间最小外接矩形顶点坐标转换到新的二维坐标系下的仿射矩阵,根据仿射矩阵进行仿射变换,不仅实现了锯链图像中各零件的分割,也实现了甩尾部分的水平矫正,使分割后的锯链图像保持空间位置的一致。

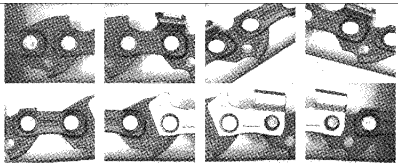
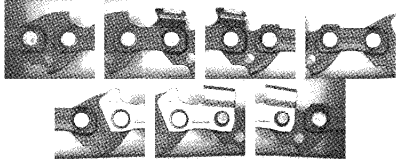
表 2 锯链图像分割效果

图像类型	原始图像	分割图像
正常锯链		
缺陷锯链		
甩尾锯链		

为验证最小二乘法拟合直线后进行异常点剔除方法的有效性,表 3 对图 15 进行了剔除异常点前后的分割对比。图 15 中含有铆钉漏铆缺陷的图像采用霍夫圆检测时出现异常点,霍夫圆检测算法错误识别为铆钉,若不进行异常点剔除,会使真实铆钉和异常圆进行仿射变换后,分割的图像出现倾斜状态,各零件的空间位置不一致。采用最小二乘法拟合铆钉信息后,计算所有圆心到直线间的距离、距离的平均值、距离的标准差,若存在某一圆心坐标不满足式(6)的约束条件,则被当做异常圆剔除,实现锯链图像中各零件部分的准确分割。

表 4 对图 16 进行了漏检铆钉定位前后的分割对比,图 16 中,霍夫圆检测时出现铆钉漏检的情况,算法在进行最小二乘法拟合直线操作后,只能检测是否含有异常值,若不进行漏检铆钉的判断,会导致锯链图像的漏分割。如表 4 所示,算法在没有进行铆钉漏检检测的情况下分割图像,存在两张图像的漏分割。算法在定位漏检铆钉位置

表 3 异常点剔除前后分割效果对比

分割方法	分割图像
仿射变换	
异常点剔除+仿射变换	

后,实现了锯链图像中所有铆钉的准确识别,保证仿射变换对图像中所有零件的分割。

为进一步验证本文算法的优势,使用 500 张包含正常锯链、缺陷锯链、甩尾锯链的图像来验证分割算法的分割



图15 含有异常点的锯链图像



图16 含有漏检铆钉的锯链图像

表4 漏检铆钉定位前后分割效果对比

分割方法	分割图像
异常点剔除+仿射变换	
异常点剔除+漏检铆钉定位+仿射变换	

正确率,分割正确率计算如下:

$$\text{分割正确率} = \frac{\text{正确分割图像数量}}{\text{图像总数}} \times 100\% \quad (10)$$

为体现本文算法对锯链的分割速度,将原图像仿射变换的运算时间为标准进行对比,计算不同算法下分割图像的归一化运算时间:

$$\text{归一化运算时间} = \frac{\text{分割算法运算时间}}{\text{原图像仿射变换运算时间}} \quad (11)$$

不同分割算法的分割正确率、归一化运算时间如表5所示。其中,算法1:对原始图像采用霍夫圆检测铆钉后直接进行仿射变换;算法2:对提取的锯链区域采用霍夫圆检测铆钉位置,使用仿射变换分割图像;算法3:在算法2的基础上加入了最小二乘法剔除异常值的方法;本文算法:在算法3剔除异常值后,加入了漏检铆钉的判断与定位方法,在精确定位铆钉位置后,进行仿射变换下的图像分割。

由表5可知,算法1对原始图像采用霍夫圆检测算法初步定位铆钉位置后,直接进行仿射变换下的图像分割,分割过程较为盲目,由于没有提取锯链区域,导致在霍夫圆检测过程中错误检测到过多圆心位置,分割图像不准确且极为费时,最终分割正确率仅为9%;相比而言,算法2在提取锯链区域后,霍夫圆检测铆钉过程较为准确,分割准确率达到64%,分割时间缩短为原来的八分之一;算法3在算法2的基础上,引入了最小二乘法拟合直线后剔除异常点的方法,避免了霍夫圆检测过程中异常值的干扰,分

割正确率达到90.2%,比算法2提高了26.2个百分点;本文算法在提取锯链区域后,不仅采用最小二乘法剔除了异常值,而且进行了漏检铆钉的判断,通过对漏检铆钉的定位,使算法检测到的铆钉信息更加准确,在仿射变换下的分割正确率达到94.4%,分割速度与算法2、算法3大致相同,分割准确率优于前三种算法。

表5 分割算法结果对比

分割算法	正确分割图像数量	分割正确率/%	归一化运算时间
算法1	45	9	1
算法2	320	64	0.12
算法3	451	90.2	0.14
本文算法	472	94.4	0.14

本文算法存在两种类型的分割失败,第一种是由于生产现场油污的干扰,可能会使锯链图像尾端最后一个铆钉未识别到,此时算法只能检测相邻铆钉间的漏检情况,无法判断尾端漏检,最终导致锯链图像的漏分割;第二种分割失败存在于甩尾锯链图像,在异常值剔除过程中,剔除了甩尾部分的铆钉,通过漏检铆钉定位计算的铆钉位置与实际位置误差较大,虽然能分割锯链每个部分,但甩尾部分的图像未能完全矫正。

4 结 论

本文在分析锯链装配特征的基础上,提出一种融合装配特征和回归分析的锯链图像分割算法。不同于传统图像处理中的阈值分割方法和深度学习的语义分割方法,可实现锯链图像中刀片、连接片、传动片部分的单独分割,提高后续自动化缺陷检测的精度。在提取含有铆钉的锯链区域图像后,首先采用霍夫圆检测算法初步定位铆钉位置;提出最小二乘法拟合铆钉信息后的异常点剔除方法,通过建立一元线性回归方程进行异常值分析,剔除霍夫圆检测过程的错误圆;同时,为解决铆钉漏检问题,通过计算相邻铆钉间的欧式距离,检测是否漏检并定位漏检铆钉,实现对锯链图像中铆钉信息的准确识别。最后,对相邻铆钉区域采用仿射变换的方法分割锯链图像,解决了甩尾锯链分割后空间位置不一致的问题。实验表明,本文分割算法的准确率达到94.4%,单张图片的分割时间可稳定在80ms左右,可实现对锯链进行图像采集后准确、快速的分割,满足工厂自动化检测的需求。

参考文献

- [1] 徐凌志. 一种锯链缺陷检测方法、存储介质及系

- 统[P]. 湖北省:CN113486958A, 2021-10-08.
- [2] 杨桂华, 唐卫卫, 卢澎澎, 等. 基于机器视觉的芯片引脚测量及缺陷检测系统[J]. 电子测量技术, 2021, 44(18): 136-142.
- [3] 黄梦涛, 连一鑫. 基于改进 Canny 算子的锂电池极片表面缺陷检测[J]. 仪器仪表学报, 2021, 42(10): 199-209.
- [4] 刘春成, 徐琳, 张坤. 基于放电检测和机器视觉技术的火花塞缺陷检测系统[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2021, 42(1): 92-97.
- [5] HAN Q, WANG S, FANG Y, et al. A Rail Fastener Tightness Detection Approach Using Multisource Visual Sensor[J]. Sensors, 2020, 20(5): 1367.
- [6] REDMON J, FARHADI A. YOLO9000: better, faster, stronger [C]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2017: 7263-7271.
- [7] FAN Y, LUO Y, CHEN X. Research on Face Recognition Technology Based on Improved YOLO Deep Convolution Neural Network [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1982(1): 012010(9pp).
- [8] LIU W, ANGUELOV D, ERHAN D, et al. Ssd: Single shot multibox detector [C]. European Conference on Computer Vision. Springer, Cham, 2016: 21-37.
- [9] 孙光民, 刘鹏, 李子博. 基于图像处理的带钢表面缺陷检测改进算法的研究[J]. 软件工程, 2018, 21(4): 5-8.
- [10] 金鹏, 黄浩, 刘检华, 等. 多传感器信息融合的铁路扣件缺陷检测方法[J]. 机械工程学报, 2021, 57(20): 38-46.
- [11] PENG B, ZHANG L, MOU X, et al. Evaluation of segmentation quality via adaptive composition of reference segmentations[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2016, 39(10): 1929-1941.
- [12] 董家顺, 王兴东, 李殿杰, 等. 基于改进 K-means 算法的钢管表面缺陷视觉检测方法[J]. 武汉科技大学学报, 2020, 43(6): 439-446.
- [13] 郭慧, 王霄, 刘传泽, 等. 人造板表面缺陷检测图像自适应快速阈值分割算法[J]. 林业科学, 2018, 54(11): 134-142.
- [14] 袁小翠, 吴禄慎, 陈华伟. 基于 Otsu 方法的钢轨图像分割[J]. 光学精密工程, 2016, 24(7): 1772-1781.
- [15] 吴京城, 洪欢欢, 施露露, 等. 反背景差分结合 Otsu 的细胞图像分割方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2021, 35(4): 82-89.
- [16] 杨志秀, 韩建宁, 于本知, 等. 一种改进的 DeepLab V3+ 的医学图像分割方法[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(9): 18-23.
- [17] 赵先琼, 邓志强, 邓朝晖, 等. 基于深度学习的 TBM 密集岩碴片图像分割[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2022, 43(3): 399-406.
- [18] YAGHOUBI H, MANSOURI H, FARSANGI M A E, et al. Determining the fragmented rock size distribution using textural feature extraction of images [J]. Powder Technology, 2019, 342: 630-641.
- [19] 王正家, 钱峰, 柯楠, 等. 两步式鱼眼图像畸变校正方法研究[J]. 现代电子技术, 2020, 43(18): 146-149.
- [20] KONOVALENKO I A, KOKHAN V, NIKOLAEV D. Optimal affine image normalization approach for optical character recognition[J]. Computer Optics, 2021, 45(1): 90-100.
- [21] HE M X, HAO P. Robust Automatic Recognition of Chinese License Plates in Natural Scenes[J]. IEEE Access, 2020, 8: 173804-173814.

作者简介

陈励威, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理与智能制造。

E-mail: chenliwei2020sa@163.com

刘苏芬(通信作者), 讲师, 博士, 主要研究方向为图像处理与智能制造。

E-mail: liususul006@139.com