

基于机器视觉的计量检定流水线 非标异物入侵自动化识别方法

鲁观娜[†], 李亮, 刘影, 袁瑞铭, 王慧楠

(国网冀北电力有限公司计量中心, 北京 102208)

摘 要: 非标准型的异物种类和尺寸差异性较大, 识别过程较慢, 识别结果准确率较低, 导致流水线异物卡顿现象频发。对此, 以计量检定流水线为研究对象, 提出了一种基于机器视觉技术的计量检定流水线非标异物入侵自动化识别方法。获取不同区域之间的颜色和纹理特征, 计算卡方距离, 实现异物空间测量, 分析世界坐标系和相机坐标系、相机坐标系与图像坐标系之间的齐次坐标变换过程, 对异物中心点坐标进行转换, 采用基于 Hough 变换的直线检测方法, 通过边缘算子提取直线特征值, 实现物体表面定位, 校正非标异物图像产生的畸变, 利用帧差法进行多图像差分, 结合多角度成像, 并计算四图像之间差值, 计算出异物中心坐标, 实现异物入侵识别。研究结果表明, 不同种类异物入侵下, 设计的基于机器视觉的计量检定流水线非标异物入侵自动化识别方法误差能够控制在 5% 以内, 验证了方法有效性。

关键词: 机器视觉; 计量检定; 非标异物; 入侵自动化识别; 坐标系转换

中图分类号: TP274+, 5

文献标识码: A

Automatic Identification Method for Non-standard Foreign Object Intrusion in Metrological Verification Pipeline Based on Machine Vision

LU Guanna[†], LI Liang, LIU Ying, YUAN Ruiming, WANG Huinan

(Center of Metrology, State Grid Jibei Electric Power Company Limited, Beijing 102208, China)

Abstract: The types and sizes of non-standard foreign objects vary greatly, and the recognition process is slow, resulting in low accuracy of recognition results and frequent occurrence of foreign object jamming in the assembly line. In this regard, a machine vision based automated identification method for non-standard foreign object intrusion in the metrological verification assembly line is proposed, taking the metrological verification assembly line as the research object. Obtain color and texture features between different regions, calculate chi square distance, achieve foreign object spatial measurement, analyze the homogeneous coordinate transformation process between world coordinate system and camera coordinate system, camera coordinate system and image coordinate system, convert the center point coordinates of foreign objects, use line detection method based on Hough transform, extract line feature values through edge operator, and achieve object surface positioning, correct the distortion caused by non-standard foreign object images, use frame difference method for multi image differentiation, combine with multi angle imaging, and calculate the difference between the four images to calculate the center coordinates of foreign objects, achieving foreign object intrusion recognition. The research results indicate that under different types of foreign object intrusion, the error of the designed machine vision based automated identification method for non-standard foreign object intrusion in the metrological verification pipeline can be controlled within 5%, which verifies the effectiveness of the method.

收稿日期: 2023-11-07

作者简介: 鲁观娜(1981—), 女, 辽宁沈阳人, 硕士, 高级工程师, 研究方向: 电气测量技术和管理。

[†] 通信联系人, E-mail: lianjiao417815@163.com

Key words: machine vision; metrological verification; non-standard foreign objects; intrusion automatic identification; coordinate system conversion

随着国内计量检定市场的不断扩大,检定机构之间的竞争越来越激烈,为满足制造业发展需求,需要提高企业生产效率、降低生产成本及能耗。尤其是在经济新常态下,提高生产效率,在竞争中取得优势地位,成为各检测机构共同追求的目标。随着我国制造业的发展以及质量管理理念的深入,对计量检定工作提出了新要求^[1]。计量检定自动化技术已成为当前计量检定发展的趋势,也是实现计量检定工作数字化、智能化和高效化的关键技术。传统计量检定方式已经无法满足新形势下的发展需求^[2-3]。为进一步提高计量检定工作效率和质量,需要借助自动化技术来实现计量检定工作流程和操作过程的智能化、数字化和高效化。为提升计量检定质量,提高检定效率,目前部分企业开展了计量检定流水线的研制工作,该流水线能够完成各类产品的计量检定工作^[4-5]。由于产品种类繁多,生产环境复杂多变,在实际生产中容易出现非标异物入侵检测困难的问题^[6-7]。在传统的流水线非标异物入侵自动化识别方法中,由于异物的种类和尺寸差异性较大,导致传统的基于红外的异物识别方法存在较大的误差,为此,本文以计量检定流水线为研究对象,提出一种基于机器视觉技术的计量检定流水线非标异物入侵自动化识别方法,在检定流水线上安装摄像头采集图像数据,实现异物的识别。

1 计量检定流水线非标异物入侵自动化识别方法

1.1 异物空间测量

为了实现对计量检定流水线中的非标异物进行检测,需要对异物空间进行测量。在测量的过程中,使用到的是由镜头、光源、相机等硬件系统和图像处理软件组成的一个完整的图像采集系统。其核心是四台成像设备,通过不同角度的设备来将图像数据传输到计算机上,在计算机上对这些图像数据进行处理和分析,并对异物进行检测和定位。通过测量异物空间,可以有效实现对计量检定流水线中非标异物的检测^[8-9]。

为了保证镜头的成像精度,在流水线的沿线设置相机,流水线根据其走向可以划分为直线型流水线和曲线型流水线。根据不同类型的流水线,对流水

线上的异物进行空间测量。获取其区域特征,根据不同区域之间的颜色和纹理特征,可以计算出卡方距离,计算公式如下:

$$D_{\chi^2}(A_i, B_j) = \frac{1}{2} \sum_{i=1, j=2, i \neq j}^n \frac{(a_i - b_j)^2}{a_i + b_j} \quad (1)$$

其中, A_i 、 B_j 分别代表不同的区域, a_i 、 b_j 表示不同区域像素。卡方距离越大,说明图像中两个区域的差异性就越大。按照上述方式逐一提取出不同区域的特征,就能够测量出流水线中异物所占用的空间。

1.2 异物中心点坐标转换

将异物中心在三维空间内的点与二维图像中的像素点进行一一对应,如图 1 所示,在此过程中存在以下关系:

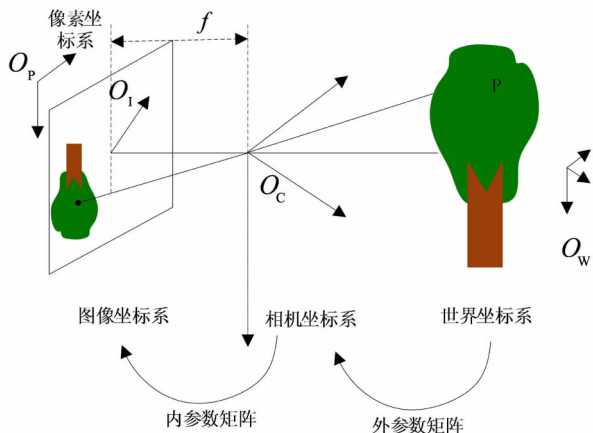


图 1 坐标转换关系示意图

在图 1 中,根据精度和分辨率参数,分析世界坐标系和相机坐标系之间的齐次坐标变换过程如下:

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{T} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, (X_c, Y_c, Z_c) 为相机坐标系下的点, (X_w, Y_w, Z_w) 为世界坐标系下的点, $\mathbf{R}$ 为旋转矩阵, $\mathbf{T}$ 为平移向量。根据镜头成像精度、稳定性、光学特性等影响,得到相机坐标系与图像坐标系之间的转换关系如下^[10-11]:

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} = Z_c \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中, Z_c 为深度值, x 和 y 为图像平面上点的坐标。经过以上转换之后, 能够得到机器视觉成像。在考虑光源的均匀性、稳定性, 相机光学特性、成像特性等因素的影响下, 实现精准的坐标转换。

1.3 基于机器视觉的非标异物图像畸变校正

以佳能公司生产的 CCD 为镜头, 以工业相机为图像采集设备, 不断地对图像进行采集和处理。但是非标异物图像会存在一定的噪声干扰, 导致图像在一定范围内发生畸变, 对于这种图像来说, 需要进行畸变校正^[12-14]。图像畸变校正主要是图像增强、边缘检测、二值化、形态学等处理。本文采用的是基于 Hough 变换的直线检测方法。

首先, 进行计量检定流水线非标异物入侵识别之前, 首先需要对图像进行预处理。预处理主要包括灰度化、二值化、滤波等步骤。将图像中亮度不均匀或有噪声的像素点转化为灰度信息, 将图像中灰度级相同或相近的像素点分离出来。

其次, 在保留更多有用信息的基础上, 引入罗伯特边缘算子, 其数学描述如下:

$$G(x, y) = \left[\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y} \right]^T \quad (4)$$

其中, $G(x, y)$ 为图像在点 (x, y) 处的梯度向量, f 为图像像素的函数, T 为转置符号。 G_x 为函数 f 在 x 方向上的偏导数, G_y 为 f 在 y 方向上的偏导数。且存在:

$$G_x = \frac{\partial f}{\partial x} = f(x, y) - f(x+1, y+1) \quad (5)$$

$$G_y = \frac{\partial f}{\partial y} = f(x+1, y) - f(x, y+1) \quad (6)$$

对物体表面的特征值进行统计, 将一个包含两个参数的直线方程转化为两个具有相同长度、不同方向 and 不同夹角的线段。

最后, 对每个线段进行距离测量, 将图像中的灰度值相同或相近的像素点分离出来, 对这些部分进行 Hough 变换, 从而实现图像畸变校正。

1.4 基于校正结果的异物入侵识别

在以上的畸变图像校正结果下, 对异物入侵进行识别。

采用监督学习方法, 利用帧差法进行多图像差分, 使用四相机同时多角度成像, 并计算四图像之间差值, 将获得的分类结果与标准样本进行比对, 实现异物入侵识别^[15]。

首先, 提取非标异物的特征点, 生成异物差分图像:

$$I_d(x, y) = |I_1(x, y) - I_4(x, y)| + |I_2(x, y) - I_3(x, y)| \quad (7)$$

其中, $I_1(x, y)$ 、 $I_2(x, y)$ 、 $I_3(x, y)$ 、 $I_4(x, y)$ 分别代表四个摄像头得到的图像, 四个图像在经过前期的图像处理校正之后, 当存在异物的情况下, 对角图像之间得到的图片差异性最大。

然后, 划分校正结果以及异物差分图像, 计算得到异物的中心坐标, 如下式所示:

$$\begin{cases} X_c = \frac{Z_c(u - u_0)}{f_x} \\ Y_c = \frac{Z_c(v - v_0)}{f_y} \\ Z_c = \frac{f_x b}{d} \end{cases} \quad (8)$$

其中, Z_c 为中心点到相机光心的直线距离, (u, v) 为校正前像素坐标, (u_0, v_0) 为校正后像素坐标, f_x 、 f_y 为相机标定参数, 得到的结果 (X_c, Y_c, Z_c) 为异物中心的坐标值, d 为视差, b 为基线长度。

至此, 完成基于机器视觉的计量检定流水线非标异物入侵自动化识别方法的研究。

2 方法性能测试

2.1 测试设计

为了验证基于机器视觉的计量检定流水线非标异物入侵自动化识别方法的可行性, 综合考虑到实验效果及经费问题, 需要搭建测试平台。

测试平台主要由带式输送机、面阵相机、光源、检测系统平台组成, 搭建效果如图 2 所示。



图 2 测试平台

用到的测试平台为一整个完整的异物入侵识别系统, 包含图像采集、图像校正增强预处理、图像

表 1 中,两种不同的异物自动识别方法对于不同品类的异物都能进行识别,但是准确性具有较大差异。根据上表中的数据可以测算出,本文设计的异物识别方法下,空间测量误差可以控制到 5%以下,但是传统的基于红外的异物识别方法下,空间测量误差平均为 11.3%,远超过本文方法,这也验证了本文方法在实际应用中的有效性。

3 结 论

基于机器视觉的计量检定流水线非标异物入侵自动化识别方法,通过对异物图像特征进行提取和分析,可以快速、准确地检测出计量检定流水线中的非标异物,可以有效提高计量检定流水线中的异物入侵识别效率和工作效率,而且可以进一步减少计量检定流水线中的人工操作。该方法还可以避免人为因素对计量检定流水线检测结果产生的影响,在计量检定流水线中具有良好的应用前景,未来可进一步拓展应用范围。

参考文献

[1] 李智,但乃禹,李磊,等. 基于机器视觉的散装粮随机扦样方法研究[J]. 中国粮油学报,2023,38(2):130—137.

[2] 胡璟皓,高妍,张红娟,等. 基于深度学习的带式输送机非煤异物识别方法[J]. 工矿自动化,2021,47(6):57—62+90.

[3] 王瑞峰,陈小屹. 基于改进 YOLOv5 的轨道异物入侵检测算法研究[J]. 云南大学学报(自然科学版),2023,45(4):799—

806.

[4] 管岭,贾利民,谢征宇. 融合注意力机制的轨道入侵异物入侵识别轻量级模型研究[J]. 铁道学报,2023,45(5):72—81.

[5] 马静怡,崔昊杨,张明达,等. 基于改进 Faster RCNN 的小尺度入侵目标识别及定位[J]. 中国电力,2021,54(3):38—44.

[6] 沈宁. 基于双目视觉的选煤厂用胶带输送机表面异物入侵识别[J]. 工矿自动化,2023,49(S1):82—85.

[7] 薛旭升,杨星云,齐广浩等. 煤矿带式输送机分拣机器人异物识别与定位系统设计[J]. 工矿自动化,2022,48(12):33—41.

[8] 何自芬,陈光晨,王森,等. 融合自注意力特征嵌入的夜间机场跑道异物入侵检测[J]. 光学精密工程,2022,30(13):1591—1605.

[9] 傅荟瑾,郭鹏跃,徐成伟等. 基于多传感技术融合的高速铁路周界入侵监测技术方案研究[J]. 铁道运输与经济,2022,44(9):122—129.

[10] 刘朝辉,杨杰,陈智超. 基于深度学习的轨道表面异物识别方法[J]. 中国铁道科学,2023,44(3):23—33.

[11] 杨剑锋,秦钟,庞小龙,等. 基于深度学习网络的输电线路异物入侵监测和识别方法[J]. 电力系统保护与控制,2021,49(4):37—44.

[12] 史凌凯,耿毅德,王宏伟,等. 基于改进 Mask R—CNN 的刮板输送机铁质异物多目标检测[J]. 工矿自动化,2022,48(10):55—61.

[13] 肖曾翔,徐启峰. 基于改进卷积神经网络的变电站异物入侵识别[J]. 科学技术与工程,2022,22(4):1465—1471.

[14] 毛清华,李世坤,胡鑫等. 基于改进 YOLOv7 的煤矿带式输送机异物识别[J]. 工矿自动化,2022,48(12):26—32.

[15] 朱梦瑞,牛宏侠. 改进 YOLOv3 模型的铁路异物入侵识别算法[J]. 北京交通大学学报,2022,46(2):37—45.