

[视觉识别技术]

视觉识别技术在智能化设施运维领域的应用探讨

文/黄传启 常得琳 马泉泉 王文宗 路嫣茹
国网山东省电力公司淄博供电公司

利用工业机器人进行智能化设施运维管理，凭借视觉识别技术提高仪表数据采集效率，根据视觉识别系统的运行过程，发挥其在设施运维作业中的应用价值。结合具体案例，优化设备配置，构建单目视觉定位系统，采集图像数据，并对图像进行预处理，随后完成仪表特征提取与读数识别，提高设施运维水平和巡检工作效率。

智能制造背景下，设备运行数据的采集是保障系统正常运行的关键，“装备+机器人”已经取代了传统人工制造方式。机器视觉是提升机器人智能化水平的“智慧眼”，通过视觉识别技术进行摄像机标定，完成仪表识别与故障定位，从而提高设备巡检工作效率，依靠视觉识别系统缓解人工巡检的工作压力，促进设施运维的智能化与自动化发展。

基于工业机器人的视觉识别系统运行过程

设备运行数据的采集是保障设备运行的关键，伴随着建筑设施运维体量的逐渐增加，设备数量与系统复杂性显著提升。当前较多建筑设施的运维作业依旧依赖于人工采集数据，传统指针式仪表已经无法满足数据采集的精准度要求，虽然配置了一部分智能化传感装置，可完成数据向后台的自动传输，但期间依然存在误差问题。企业制定的设施运维巡检计划一般是2~3次/日，每次需要耗费大约2 h。伴随着设施运维需求的提升，为保障数据采集的连续性，满足现场运维管理的实时监控需要，减轻人员巡检强度，可采用视觉识别技术，依靠工业机器人搭建巡检平台，完成对数据的自动化采集与现场环境的实时监测。

视觉识别系统运用统一的视觉符号，依靠机器

来代替人眼，完成信息的采集与识别分析。视觉识别系统在运行过程中涉及计算机图像识别、人工智能及光电一体化等技术，在运行期间需要考虑系统运行与图像处理速度之间是否匹配，以及检测目标尺寸、摄像系统分辨率等，避免有任何因素对系统运行效果造成影响。

系统的主要工作过程：首先，视觉定位装置对仪表盘进行探测，识别已经运动到摄像系统的视野中心，随后向图像采集装置发送信号。根据设定的程序，向摄像机发出指令。其次，摄像系统对仪表盘进行扫描，照明系统开启，以此维持摄像曝光效果。摄像系统进行图像的扫描与输出，接收模拟图像信号，采用A/D转化的方式将图像信号转为数字信号。最后，图像采集部分将数字图像存储于处理器内，处理器处理图像，经过识别与分析后，最终得到相应的测量结果，并经过网络传递给后台系统。

视觉识别技术在设施运维作业中的应用价值

人眼从周围环境获取信息，再经过大脑完成信息加工处理，使其变为感觉与信息。人们希望有先进的技术代替人眼完成很多工作，比如计算机或工业机器人的视觉识别技术，利用传感器、相机或激光雷达等设备重现人类视觉功能，感知三维世界的

信息,代替人眼完成设施的运维管理。现阶段设施运维领域内,人工读取仪表数据会影响运维工作效率,人工记录设备当前运行状态会产生较多误差,所以向工业机器人赋予视觉识别能力,凭借机器人的稳定性与效率性特征,对技术进行优化,编制更加科学的工作方案,发挥视觉识别在设施运维期间的技术优势,具体如下:首先,工业机器人采用非接触式的测量方式,不与仪表设备产生直接表面接触,经过视觉识别进行运维检修,避免仪器在运维期间受到损伤。其次,工业机器人有十分广泛的视觉识别范围,在设施运维现场,即便设施的安装位置较高,或者存在管线阻挡,人眼无法立即识别,工业机器人的摄像系统也能够快速且精准的获取图像信息,再经过变焦距完成图像输出的优化处理。最后,工业机器人的工作结果更加稳定,可靠性较高。与人工巡检时难度较大不同,工业机器人会大量观察并快速读取仪表数据,同时视觉识别系统在运行期间可保持长时间的数据稳定测量。

工业机器人视觉识别技术在智能化设施运维的实践应用

1. 案例简介

根据实际案例进行分析,探究视觉识别技术在设施运维过程中的实践应用,突出工业机器人的技术优势。项目位于超高层建筑中设施运维的冷冻机房,机房位置在地下一层,建筑面积共计300 m²,有45块指针式仪表设备安装在机组与管道处,这些仪表设备用来检测设施内部运行压力情况。案例中,要求巡检人员定时完成仪表中指示数据的记录与抄取,记录设备设施当前运行状态,将其作为设备运行绩效管理的参考依据,同时巡检人员每天完成2次巡检工作,在巡检的同时得到仪表设备的压力数据,巡检每次需要耗费大约2 h。相比之下,依靠工业机器人平台进行的非接触式巡检方式,借助视觉识别技术自动化采集仪表设备中的数据,从而验证在这一模式下的数据采集结果,分析采集效率是否显著提升。

2. 设备配置

选用以下配置的工业机器人:EC66六轴机械臂与AGV行走机构。指针式仪表依靠CMOS摄像头完成数据快速读取,视觉识别摄像头用来采集图像,

其分辨率可以达到130万像素,经过图像增强与滤波处理后利用Hough算法找出指针原点,再用轮廓法得到指针所在的位置,经过换算后根据指针的度数计算出相应读数。

3. 构建单目视觉定位系统

以单目视觉识别技术为前提创建定位系统,完成对智能设施的故障定位,提高运维工作效率。在摄像机标定环节,以获得工件图像像素坐标为前提,将其转为世界坐标,明确工件与相机坐标系之间的位置关系,摄像机的标定结果对视觉定位精度产生影响,这是视觉定位技术的关键所在,手眼标定求解坐标系间的相互关系,为后续设施故障定位提供借鉴与指导。工件图像识别对一个或多个工件进行检测运维,获得详细的图样或工序信息等,经过识别判断是否有故障问题。图像预处理以获取精准位置信息为前提,对相机视野中除了工件之外的噪点进行预处理,避免特征提取不准确,经过滤波处理后完成图像增强预处理。

原始图像数据无法直接用来识别,还需进行滤波处理,这是图像处理中常见的手段,能够抽象出图像特征,使图像可以更好地符合预处理要求。比如采用均值滤波方法,通过邻域均值法,采用邻域中的均值替换各点的值,均值滤波和改进算法成为均值滤波器的手段,装置可以用来解决因扫描得到的图像的颗粒噪声问题,提高降噪效果。还可以采用中值滤波方法,采用卷积核的方式处理图像,以中值替代各点的值,消除叠加白噪声,但是整个过程中需要处理很多细节图片,导致边缘发生抖动,所以有必要将一些图片特征细节删除,使图片变得模糊,导致最终滤波效果并不理想。除此之外,采用双边滤波方法,根据降噪手段中引发的图像特征模糊的情况,提出非线性滤波算法,采用双边滤波的方式,综合空域信息与灰度相似性,保留图像边缘特征,提升滤波效果。

根据相机成像原理创建坐标系,解出坐标系相互转换的参数,完成相机标定,为后续视觉系统能否对设施进行故障有效定位提供帮助。随后创建相机成像的几何模型,了解模型内坐标系之间的关系,在标定时大致包含两部分:一部分是将世界坐标系转为相机做标记,解出旋转与平移矩阵 R 、 t 相机外参等参数;另一部分是将相机坐标系转为图像

像素坐标系，这是三维坐标转为二维坐标的重要过程，期间需要求解 K 相机内参的参数。图像像素与图像物理坐标系之间的关系如图1所示。

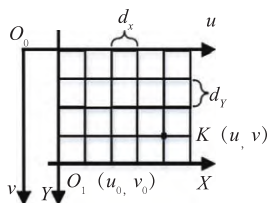


图1 图像像素与图像物理坐标系

作为以像素为单位的坐标系，图像像素坐标系原点在左上方，像素点的位置一般以像素为单位进行表示，这种图像像素坐标系就是 O_{0uv} ，坐标系中某点 (u, v) 指的是该点在图像中的第 u 列第 v 行，像素点无法表示实际大小，需将其用物理单位表示，创建图像物理坐标系 O_0XY ，原点为 O_0 ，有时级光轴与像素平面之间的交点发生偏移，以毫米为单位。坐标轴 O_1 与 O_0u 平行， O_1Y 与 O_0v 平行。假设某一点 K 的坐标是 (u, v) ， O_1 偏移量是 (u_0, v_0) ，像素点大小为 $d_x \times d_y$ ，图像物理坐标系 (x, y) 坐标和像素坐标系 (u, v) 的转换公式为

$$u = \frac{X}{dX} + u_0$$

$$v = \frac{Y}{dY} + v_0$$

经过坐标系的转换创建单目视觉系统，完成图像预处理与故障工件定位，为识别与运维提供技术支持。

4. 技术要点

(1) 采集图像预处理

对图像进行预处理之前，需要采集数据信息。利用相机拍摄目标物体，随后采用不同格式来储存，再以单张照片的形式采集图像，这种方法无法全方位记录目标信息，整体信息采集效率偏低。为了更好地捕捉目标物体在不同角度下的图像信息，采用视频捕捉的方法采集图像，再分割采集到的视频，可得到运维所需的全方位的图像信息。视觉识别技术对数据的丰富程度要求很高，如果样本数量不多，最终模型训练结果将受影响，导致模型泛化程度降低，准确率难以提升，所以需对采集的数据增强，提高数据丰富程度，强化模型训练效果。图

像处理是应用计算机对原始图像进行灰度化和降噪处理，去除原始图像内的干扰与噪声信号，对处理后的图像进行特征提取与分类，依靠图像处理技术保障图像质量，提高图像识别精准度，增强目标物体对比度，实现对目标物的精准识别。

利用CMOS摄像机完成指针仪表中图像信息的采集，整个过程中需要在自然光下进行。图像预处理是采用图像灰度法对彩色图像进行灰度化处理。受拍摄角度或光照条件的影响，初步采集到的图像内存在较多识别干扰因素，识别数据错误率较高，甚至可以达到50%。通过对图像进行预处理，图像识别率能够提升到99.96%。

(2) 仪表特征提取与读数识别

采用Hough变换指针定位算法，利用图像识别技术计算指针的 X 轴与中轴的夹角，检测仪表盘转动轴心时的指针所在位置，指针会围绕轴心进行旋转，中线经过指针转动轴心，利用特性定位指针的中轴，提高指针位置判断的准确性。完成表盘区域定位之后，以指针偏转角度表示此时仪表读数，证明该算法对于图像数据采集的实际效果，实现模拟图像信号向数字信号的转换，提高读数识别对外界干扰因素的抗干扰能力。

(3) 云数据库建立

根据MySQL或SQL Server等数据库软件，发挥数据库较强的适应性特点，同一时间内处理大量数据。基于Linux环境安装MySQL数据，完成对数据库的远程访问，在数据库内建立工业机器人数据库和零件信息储存表，表中涵盖了设施与工件的类型、位置与高度等信息，确定零件类型与位置，采用长字符串的方式存储信息。创建数据表之后，再编辑Java程序，利用其内部JDBC驱动创建计算机终端，使其与数据库相互衔接，完成仪表检测与位置信息获取后，所有数据将被存入数据库，随着巡检数据的变化，数据库内的信息会不断更新。

5. 结果验证

自动化和智能化是未来制造业发展的主要方向，机器人将成为各行业与领域的重要辅助设施，机器视觉和工业机器人的搭配应用可提高设施巡检效率，帮助巡检人员及时发现设施故障情况，完成对设施的运维管理。采用工业机器人完成设施数据

(下转第125页)

况下，应由电力部门或电缆专业人员完成，在满足安全要求的前提下，可由施工单位完成。

2) 电缆在敷设过程中及敷设后应进行外观检查，包括外观有无破损、弯曲和损伤等情况。检查电缆护层绝缘电阻值是否符合设计要求；电缆护层绝缘电阻值是否符合设计要求。

3) 电缆敷设后应进行电压试验，检查其是否符合设计要求。当电缆试验电压超过额定值时，应查明原因，及时处理。

4) 电缆敷设完毕后应进行验收，检查其长度、截面、连接方式等是否符合设计要求；绝缘电阻值是否符合设计要求；有无断路或短路现象等。

结束语

随着我国经济的发展，电力需求也在不断增加，传统的配电线路已经无法满足当前需求，城市配电线路电缆化改造成为必然趋势。因此，需要了解配电线路电缆化改造与施工中需要注意的问题，并在此基础上制定科学合理的施工方

案。EA

(收稿日期：2023-08-22)

参考文献

[1] 石隆吉, 闫康. 10 kV及以下供电线路线路损
及应对措施研究[J]. 江西电力职业技术学院学
报, 2022, 35(6): 10-11, 14.
[2] 吴文庆. 城市配电网配电线路设计优化对策[J].
电子测试, 2021(4): 131-132.
[3] 杨鹏, 李锦, 余伟, 等. 城市架空配电线路与
埋地电缆混合传输系统雷击可靠性分析[J]. 电
瓷避雷器, 2020(4): 127-131.
[4] 李明, 姚美菱, 李英杰, 等. 城市道路照明路
灯电缆截面的选择和保护[J]. 现代建筑电气,
2020, 11(3): 1-5.
[5] 马兴明, 赵立胜, 毛新宇, 等. 基于变分模态
分解和多尺度排列熵的配电网电缆终端局部放
电信号特征提取研究[J]. 电气应用, 2022,
41(1): 53-61.

(上接第112页)

采集，巡检人员经过多次读表后，依靠视觉识别技术完成所有指针仪表盘的数据读取，整个巡检过程从2 h缩减到1 h，且准确率提升到90%以上。人工模式下，巡检任务平均需要消耗2~2.5 h，正确率仅为70%，应用视觉识别技术的工业机器人的巡检效率很高，且正确率能够得到保证。人工每天需要对设施巡检两次，耗时较长，且准确率有待提升；工业机器人每天可以进行八次巡检，其效率显著提升。两种巡检工作方式的结果对比见表1。

表1 人工与机器人巡检结果对比

序号	巡检耗时/h			抄表误差/块		
	人工	机器人	差异	人工	机器人	差异
1	2.3	1.1	1.2	14	9	5
2	2.35	1.05	1.3	12	6	6
3	2.5	1.2	1.3	14	5	9
4	2.6	1.24	1.36	10	5	5
5	3.1	1.3	1.8	15	4	11
6	2.8	1.33	1.47	12	4	8
7	2.85	1.2	1.65	15	4	11
8	3	1.18	1.82	15	4	11

结束语

基于工业机器人的视觉识别技术，有效推动了智能化设施运维项目的发展，将视觉识别系统集成在机器人平台中，可高效完成设施的运维巡检，提高设施运维的智能化作业水平。经过验证分析后得知，基于机器人的视觉识别技术可读取准确的仪表数据，经过图像预处理与特征提取后，可提高设施运维管理效率，缓解人员巡检压力，避免仪表损坏。EA

(收稿日期：2023-08-14)

参考文献

[1] 侯毅, 柴艳丽, 王剑昆, 等. 基于视觉识别技术的手持式数字万用表自动校准装置[J]. 计测技术, 2023, 43(2): 118-127.
[2] 万乐. 视觉识别技术在钢铁企业自动化生产中的应用[J]. 农业工程与装备, 2023, 50(2): 40-41.