

## 基于halcon机器视觉的几何元素提取方法

河南中光学集团有限公司 刘维平 李海柱 秦建峰  
舒冠华 马玉琳

DOI:10.19353/j.cnki.dzsj.2019.16.005

提出了一种基于Halcon机器视觉的几何元素提取方法,主要包括圆、直线、交点的提取以及圆心距、直线距离、角度等特性的计算。首先用工业相机采集清晰的被测零件图像,并对零件图像进行预处理;然后根据元素特性绘制ROI区域,对区域内图像进行亚像素边缘识别并拟合对应元素;最后根据拟合的元素位置计算元素特性。实验结果表明,该算法能自动识别提取直线、圆、交点等元素,并进行角度、距离等特性的计算,且测量误差小于0.005mm,在精密测量领域具有一定的可行性和实用性。

引言:在精密测量领域,传统的元素尺寸测量通常使用万能工具显微镜,并采用人工观察双螺旋压线法,主要缺点是费时费力且误差较大。而较先进的影像式万能工具显微镜及影像测量仪具有简单的图像显示及处理功能,但一般采用十字光标采点拟合的方式进行测量元素的提取,仍存在有测量点少,采点不准等较大的人为误差。机器视觉是一门新兴的学科,在工业在线检测方面具有很大的发展空间,基于机器视觉对几何元素的提取进行优化改善,采用图像处理的方式代替人工采点进行智能识别边缘并拟合元素,对于提高测量效率和测量精度具有重要意义。

本文提出了一种基于Halcon机器视觉的几何元素提取方法,将工业相机采集清晰的被测零件图像传输给计算机,并对被测零件图像行预处理,然后绘制ROI区域,对区域内图像进行亚像素边缘识别并拟合出元素,最后根据拟合的元素位置计算元素特性。实验结果表明,该算法能自动识别提取直线、圆、交点等元素,并进行角度、距离等特性的计算,在精密测量领域具有一定的可行性和实用性。

### 1. 检测系统组成

该系统硬件部分由工作台及支架、工业相机及镜头、环形光源、面光源、玻璃载物台、计算机及输出设备构成,图1为检测系统结构示意图。其工作过程是将被测零件放置在玻璃载物台上,面

光源在玻璃载物台正下方为主光源,环形光源在玻璃载物台上方为辅助光源,工业相机和镜头位于被测零件的正上方,其可视距离可调,用于采集清晰的图像,通过USB3.0接口将采集到的零件图像传输到计算机中,由软件进行测量计算和存储。

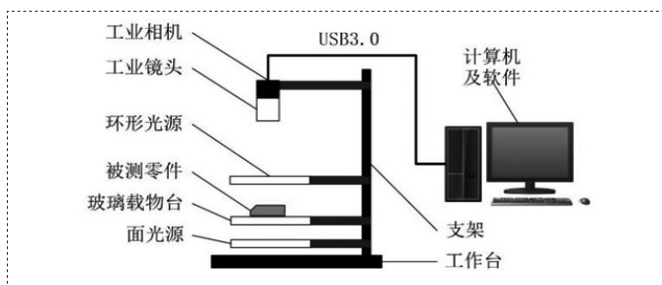


图1 检测系统结构示意图

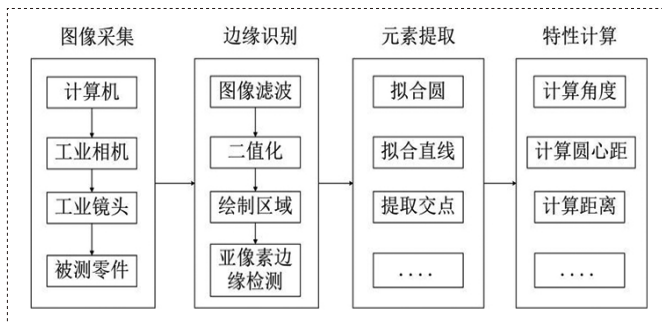


图2 系统检测流程图

本系统的测量软件采用C++编程工具开发,其中图像采集、边缘识别、元素拟合、特性计算的主要算法采用Halcon机器视觉算法来实现。Halcon是德国MVTec公司开发的一套机器视觉集成开发软件,拥有应用广泛的机器视觉集成开发环境,已应用于工业生产的各个方面。本文中几何元素提取算法主要分为四个部分:图像采集、边缘识别、元素拟合和特性计算。图像采集是通过标定后的工业相机进行拍摄被测零件的图像;边缘识别是通过图像处理、亚像素边缘检测来提取零件边缘信息,进行检测识别;元素提取是对区

域内检测的边缘进行拟合生成元素；特性计算是根据拟合的元素坐标对元素及元素间的特性进行计算。整个系统检测流程如图2所示。

## 2. 算法实现

### 2.1 图像采集

图像采集是用工业相机拍摄照片把真实图像转换成数字图像的过程，系统中采用的工业相机可通过USB3.0接口与电脑进行通信。在Halcon软件中，通过info\_framegrabber算子进行检测查询系统连接到的相机设备，在确认相机设备连接后，可调用open\_framegrabber算子来连接并初始化工业相机，然后用grab\_image\_start算子命令打开相机，利用grab\_image\_async算子进行异步采集，获取被测零件图像。

在精密测量中需拍摄Halcon标定板图像对工业相机进行标定，根据相机标定内外参数对采集图像进行畸变校正，并将像素坐标系转化为世界坐标系计算出每个像素对应的世界坐标距离。

### 2.2 绘制RIO区域

元素的提取首先要用交互的方式绘制RIO区域，如图3所示，直线的提取绘制任意矩形，圆的提取绘制任意圆。



图3 交互绘制

矩形区域的绘制用draw\_rectangle2算子在要提取直线的区域交互绘制任意定向矩形，绘制完成确认后获取该矩形对应的坐标。然后用gen\_rectangle2算子用获取的矩形坐标创建一个任意方向的矩形。圆形区域的绘制用draw\_circle算子在要提取直线圆的区域交互绘制任意圆，绘制完成确认后获取该圆对应的半径和坐标。然后用gen\_circle算子用获取的圆半径和坐标创建一个圆形。

圆或矩形绘制完成后，用reduce\_domain算子将图像的定义域由全图缩小到指定的矩形区域或圆形区域，完成RIO区域的绘制。

### 2.3 区域内边缘检测

区域内边缘检测是将RIO区域内的图像进行亚像素边缘检测，提取被测零件的边缘信息的过程，过程可分为灰度、滤波、阈值分割、边缘识别等步骤。

Halcon中用rgb3\_to\_gray算子可将彩色图像三个颜色分开成三个图像输入得到灰度图像。图像滤波可先用info\_smooth算子设置平滑滤波器信息，然后用smooth\_image算子对灰度图像进行滤波去

噪。自适应阈值的阈值分割可提高轮廓检测的适用性和检测精度，可用gray\_histo算子计算图像中的灰度值分布，即灰度直方图，进一步用histo\_to\_thresh算子根据灰度直方图确认灰度值阈值。亚像素精度是指相邻两像素之间继续细分情况，即每个像素将被分为更小的单元从而对这些更小的单元实施插值算法，可通过threshold\_sub\_pix或edges\_sub\_pix算子实现对图像中轮廓边缘的亚像素精度精确提取，从而得到RIO区域内边缘轮廓信息。

### 2.4 元素提取

元素提取是将区域内检测的亚像素边缘轮廓经过分割、拟合成圆、线等几何元素的过程。首先用segment\_contours\_xld算子将检测的边缘轮廓分割为线或圆，根据分割出边缘轮廓的长度特征用select\_contours\_xld算子将需要的边缘轮廓选择出来。然后用get\_contour\_global\_attrib\_xld算子输出边缘轮廓的全局特征值，根据边缘轮廓的全局特征值判断轮廓是线还是圆。

若判断出边缘轮廓为线，用fit\_line\_contour\_xld将边缘轮廓线拟合为标准直线，获取直线的起始点坐标，然后用gen\_contour\_polygon\_xld根据起始点坐标绘制直线用于显示。

若判断出边缘轮廓为圆，用fit\_circle\_contour\_xld将边缘轮廓线拟合为标准圆，获取圆心坐标及半径，然后用gen\_ellipse\_contour\_xld根据圆心坐标及半径绘制圆用于显示。

### 2.5 特性计算

元素特性的计算主要包括圆直径、圆心距、线到线距离、线与线角度、圆到线距离、两线交点等特性的计算。

提取圆的过程已经得到了圆的半径和圆心坐标位置，因此圆直径的计算只需用圆半径乘以2即可得到。圆心距的计算可连续提取两个圆，得到两个圆的圆心坐标，然后用distance\_pp算子计算两圆心之间的直线距离即可得到圆心距，若两圆为同心圆可进一步计算出同心度。

提取直线的过程得到了直线的起始点坐标位置，因此可用distance\_pl算子根据圆心坐标和直线起始点坐标计算得到圆心到直线的垂直距离。线到线的距离可用distance\_p1算子分别计算一条直线起点及终点到另一条直线的垂直距离，再将结果取平均值即可得到线到线的距离。线与线的角度可用angle\_l1算子根据两条线起始点坐标计算两条线之间角度，并用tuple\_deg算子将弧度值转换为角度值。用intersection\_lines算子可计算两直线的交点坐标位置，并用disp\_cross算子在图像中显示交点位置。

## 3. 实验结果及分析

实验中对多种零件进行了图像采集，并进行元素的提取和特

(下转第20页)

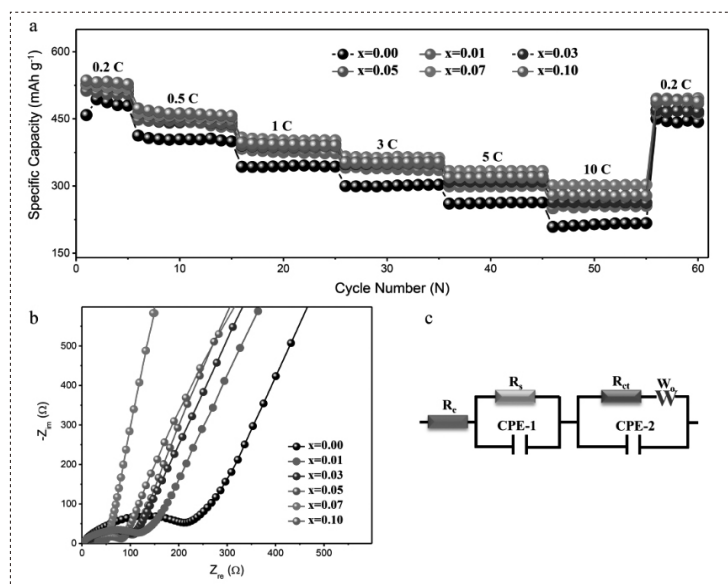


图4  $\text{Li}_{3-x}\text{Na}_x\text{VO}_4/\text{C}$  ( $x = 0.00\sim 0.10$ )化合物(a)在电压为0.05~3.0V不同电流密度下的电化学性能, (b)在充放电循环之后的Nyquist曲线, (c)倍率循环后用于模拟实验阻抗参数的等效电路。

为了进一步分析 $\text{Li}_{3-x}\text{Na}_x\text{VO}_4/\text{C}$  ( $x = 0.00, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.10$ )电极的动力学过程, 我们对其进行了交流阻抗测试, 如图4b所示。观察发

现, 在循环之后这些电极显现了两个半圆和一条直线的形态, 其中第一个半圆代表电荷穿过SEI膜的阻抗, 第二个半圆代表电荷转移阻抗, 直线代表扩散阻抗。随着 $\text{Na}^+$ 的掺杂, 其电荷转移阻抗呈现了下降到上升的规律, 具体电荷转移阻抗大到小的顺序是:  $\text{Li}_3\text{VO}_4 > \text{Li}_{2.99}\text{Na}_{0.01}\text{VO}_4 > \text{Li}_{2.97}\text{Na}_{0.03}\text{VO}_4 > \text{Li}_{2.95}\text{Na}_{0.05}\text{VO}_4 > \text{Li}_{2.9}\text{Na}_{0.10}\text{VO}_4 > \text{Li}_{2.93}\text{Na}_{0.07}\text{VO}_4$ ,  $\text{Li}_{2.93}\text{Na}_{0.07}\text{VO}_4$ , 显示出更低的电子转移阻抗, 这与图4a所示的倍率性能一致。

### 3. 结论

总之, 通过简单的球磨-高温固相法我们成功合成出一系列的Na掺杂Li位的 $\text{Li}_{3-x}\text{Na}_x\text{VO}_4/\text{C}$  ( $x = 0.00\sim 0.10$ )样品。通过XRD图谱可以证明得到了纯相的Na掺杂Li位的 $\text{Li}_3\text{VO}_4$ 固溶体材料。进一步地, 为了探究不同Na掺杂量对于材料电化学性能的影响, 我们测试了在不同电流密度下全部样品的电化学性能, 经过对比可知, 当掺杂量 $x=0.07$ 时, 样品的倍率性能达到最优。这是因为适量的Na掺杂增强了材料的本征电子导电, 提高材料的电化学活性, 改善在大电流下的极化现象。这种碱金属掺杂策略可以拓展到其他电极的合成, 应用于各种储能体系。

(上接第17页)

性的计算。元素提取和特性测量的结果如图4所示, (a)为直线提取及线到线距离测量, 图中物被测物体为7.500mm的标准量块, 用本文方法实测尺寸为7.5008mm; (b)为圆提取及圆心距测量, 图中物体两圆直径均为5mm、圆心距为7mm, 用本文方法实测两圆直径分别为4.9969mm和4.9982mm, 圆心距为6.9985mm; (c)为两直线交点及角度测量, 图中为 $30^\circ$ 样板, 用本文方法实测角度为 $30.0081^\circ$ 。

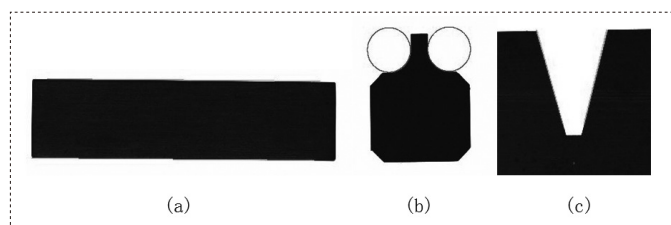


图4 元素提取和特性测量 (a)直线提取及距离测量, (b)圆提取及圆心距测, (c)交点提取及角度测量

通过实验结果可看出, 利用本文算法可快速、准确的提取线、圆等几何元素特性并进行特性的计算。和传统的十字光标采点拟合

元素的影像测量方式相比, 在亚像素消除边缘检测上更准确, 拟合点数更多, 减少人为误差, 各元素的测量误差均小于0.005mm, 基本满足在线精密测量的需求。整体而言, 本文方法比较可靠的实现了几何元素的快速准确提取和特性测量, 能满足高精度、高效率的精密测量要求。

### 4. 结论

本文提出了一种基于Halcon机器视觉的几何元素提取方法, 能够快速、准确的提取直线、圆、交点等元素, 并进行角度、距离等特性的计算。相比传统的十字光标采点拟合元素的影像测量方式, 该方法亚像素边缘检测更准确, 测量误差小于0.005mm, 提高了测量精度和测量效率, 能满足高精度、高效率的精密测量要求, 在精密测量领域具有较高的可行性和广泛的应用前景。

作者简介: 刘维平(1962—), 男, 大学本科, 高级工程师, 现供职于河南中光学集团有限公司, 研究领域为光电信息及科研创新管理。