

本文引用格式: 李小菁. 基于机器视觉的小型零件尺寸测量系统[J]. 自动化与信息工程, 2023, 44(2): 11-15.

LI Xiaojing. Small part size measurement system based on machine vision[J]. Automation & Information Engineering, 2023, 44(2): 11-15.

基于机器视觉的小型零件尺寸测量系统*

李小菁

(广东省计量科学研究院, 广东 广州 510405)

摘要: 针对目前大多数小型零件尺寸测量采用人工方式存在效率低、精度差的问题, 设计一套基于机器视觉的小型零件尺寸测量系统。该测量系统的硬件部分由工业相机、远心镜头和背光光源等组成; 测量软件实现小型零件图像平滑滤波、自适应阈值二值化、感兴趣区域自动提取、亚像素边缘特征提取和最小二乘法曲线拟合等功能。通过对短 U 弯制小型零件进行测量实验, 验证了该测量系统可实现小型零件多个几何量参数的一键快速测量, 最大误差为 0.021 mm, 测量精度可达 0.02 mm。

关键词: 机器视觉; 图像处理; 尺寸测量; 小型零件

中图分类号: TP271

文献标志码: A

文章编号: 1674-2605(2023)02-0003-05

DOI: 10.3969/j.issn.1674-2605.2023.02.003

Small Part Size Measurement System Based on Machine Vision

LI Xiaojing

(Guangdong Provincial Institute of Metrology, Guangzhou 510405, China)

Abstract: A machine vision based small part size measurement system is designed to address the issues of low efficiency and poor accuracy in manual measurement of most small parts. The hardware part of the measurement system consists of an industrial camera, a telecentric lens, and a backlight light source; The measurement software achieves functions such as smooth filtering of small part images, adaptive threshold binarization, automatic extraction of regions of interest, sub pixel edge feature extraction, and least squares curve fitting. By conducting measurement experiments on short U-shaped small parts, it was verified that the measurement system can achieve quick measurement of multiple geometric parameters of small parts with one click, with a maximum error of 0.021 mm and a measurement accuracy of 0.02 mm.

Keywords: machine vision; image processing; size measurement; small parts

0 引言

小型零件的几何量测量在工业生产中有着重要的地位, 其测量结果不仅影响零件的加工质量, 还对后续的再加工及产品装配等有重要影响^[1]。目前, 国内小型零件的尺寸测量以人工为主, 存在测量精度低、劳动强度大、效率低、成本高等问题, 影响产品的质量和可靠性。随着我国工业制造水平日益提高, 现代工业对测量技术提出了更高的要求, 人工测量方式已无法满足需求。机器视觉测量技术因具有非接触、高效可靠、通用性好、易于实现自动化等特点^[2], 可实

现物体的轮廓尺寸、面积、形状、缺陷等检测, 广泛应用于工业测量领域。

21 世纪初期, 机器视觉技术在我国进入快速发展阶段, 在零件测量领域也有诸多的应用研究。马文娟等^[3]应用机器视觉技术研究圆度、直线度、平行度、同轴度 4 种形位误差的测量技术, 实现零件尺寸的自动测量, 平行度误差为 0.26 mm、圆度误差为 0.28 mm、同心度误差为 0.06 mm。张晓明^[4]研发一套基于机器视觉的小轴类零件二维尺寸测量系统, 并利用图像拼接提高系统的测量精度。谢红等^[5]设计一套薄片圆孔

*基金项目: 广东省市场监督管理局科技项目 (2017PJ04)

型零件测量系统，测量误差小于 0.2 mm。丁海洋等^[6]设计一种圆形物体直径测量系统，实验平均误差为 0.36 mm。殷炜棋^[7]基于机器视觉测量技术实现轴类零件尺寸的测量，实验平均误差约为 0.1 mm。以上测量系统都是针对某种特定对象，且测量参数单一，精度不高。为此，本文设计一套基于机器视觉的小型零件尺寸测量系统，可实现多个几何量的一键快速测量。

1 测量系统概述

基于机器视觉的小型零件尺寸测量系统由硬件和软件两部分组成。硬件部分主要包括工业相机、光学镜头、背光光源和上位机等，示意图如图 1 所示。

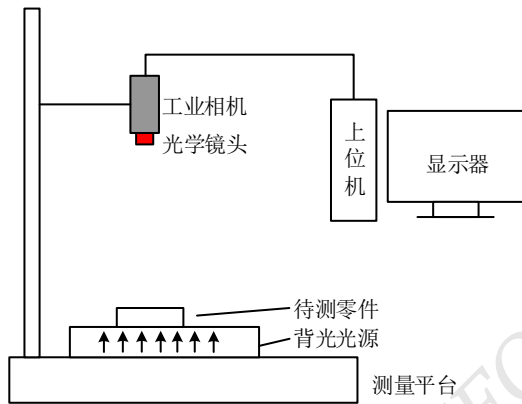


图 1 基于机器视觉的小型零件尺寸测量系统示意图

工业相机选用德国 Basler CMOS 传感器相机^[8]，分辨率为 4 603×3 826 像素，数据接口为 USB3.0。

光学镜头选用 moritex 远心镜头，具有无透视误差以及低畸变率的特点。

利用 LED 背光光源可获取零件轮廓图像。

上位机处理工业相机获取的零件图像，并将计算的零件几何量参数显示在显示器上。

基于机器视觉的小型零件尺寸测量系统的工作原理为：在检测区域，根据不同的零件适当地调节照明光源；把零件放置在测量平台的工业相机视野范围内，工业相机实时拍摄完整的零件图像，同时对该图像进行处理和计算，得到零件的测量数据；上位机实时显示获取的零件图像及测量信息，并对测量结果进行显示、存储和查询等操作。

基于机器视觉的小型零件尺寸测量系统的软件部分按功能可分为图像采集、视觉传感器标定、图像处理、零件几何量参数求解、测量结果显示及存储 5 个模块，系统测量流程图如图 2 所示。

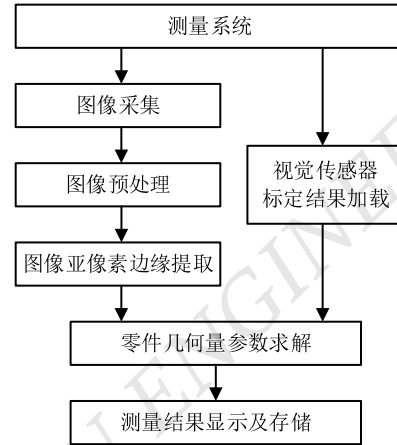


图 2 基于机器视觉的小型零件尺寸测量系统测量流程图

基于机器视觉的小型零件尺寸测量系统测量流程如下：

- 1) 相机驱动程序控制工业相机采集零件的图像，经 USB3.0 接口传输到上位机；
- 2) 图像处理模块包括对零件图像进行图像预处理和亚像素边缘提取；
- 3) 基于图像处理结果和视觉传感器标定结果，求解零件几何量参数；
- 4) 将测量结果显示在软件主界面并保存至数据库；同时可按时间、批次、型号进行查询、统计和打印等操作，实现零件的自动测量和质量监控管理。

2 测量系统算法实现

2.1 视觉传感器标定

标定是确定图像坐标系与空间坐标系的转换关系^[9]。测量系统为单目视觉，采用像素当量标定法确定转换系数 k ：

$$k = D / P \quad (1)$$

式中： D 为空间距离， P 为对应的像素数。

2.2 图像处理

图像处理是测量系统的核心部分，主要包括图像

预处理、图像亚像素边缘提取。

2.2.1 图像预处理

图像预处理主要包括图像滤波和感兴趣区域提取，便于后续图像处理及几何量参数求解。

由于工业相机本身及外界因素的影响，获取的零件图像含有一定的噪声，利用中值滤波去除噪声影响和平滑图像。

感兴趣区域提取可实现零件特征区域和背景区域的划分。首先，利用直方图法确定二值化阈值，对灰度图像的直方图进行混合高斯分布逼近，以两个高斯分布相交处作为阈值；然后，用阈值对零件图像进行二值化处理；最后，判断连通域，对符合特征的连通域标记为感兴趣区域，并在后续的处理中只对感兴趣区域进行边缘特征提取。

2.2.2 图像亚像素边缘提取

在测量系统中，边缘检测是图像处理的重要环节。为提高测量精度，需要对图像边缘进行亚像素级别的定位^[10]。本文采用二次函数插值法，先对零件图像进行canny检测，得到图像像素级边缘点；再进行二次函数插值获取亚像素边缘点。

利用canny算子检测零件图像中的像素边缘点及梯度方向，如图3所示。

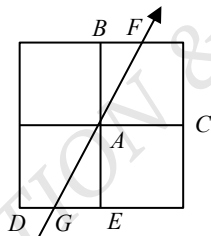


图3 图像像素边缘梯度图

图3中，对每一个边缘点沿着梯度方向得到八邻域内的2个交点F、G，若F、G不在整数点上，则分别利用B、C以及D、E的梯度来计算F、G的梯度。

$$G(F) = BF \times G(C) + FC \times G(B) \quad (2)$$

$$G(G) = DG \times G(E) + GE \times G(D) \quad (3)$$

式中： $G(X)$ 代表在点X处的梯度，BF、FC、DG、GE分别表示图3中的像素距离。

令点A的横坐标为O，梯度幅值为G(A)；G点的横坐标为-GA，梯度幅值为G(G)；F点的横坐标为AF，梯度幅值为G(F)。根据G、A、F三点求出二次曲线，二次曲线的最大值即为图像边缘所在处。G、A、F三点组成的方程为

$$\begin{cases} y_1 = ax_1^2 + bx_1 + c \\ y_2 = ax_2^2 + bx_2 + c \\ y_3 = ax_3^2 + bx_3 + c \end{cases} \quad (4)$$

解方程可得图像亚像素坐标为

$$\begin{cases} x_{sub} = x + m \cdot \frac{gx}{grad} \\ y_{sub} = y + m \cdot \frac{gy}{grad} \end{cases} \quad (5)$$

式中：点A(x,y)处的梯度为[gx, gy]，

$$grad = \sqrt{gx^2 + gy^2}$$

$$m = -\frac{b}{2a} = -\frac{x_1^2 x_3^2 y_1 - x_1^4 y_3 - x_1^2 y_2 (x_3^2 - x_1^2)}{2x_1 x_3 (x_3 - x_1)(y_1 - y_2 - bx_1)}$$

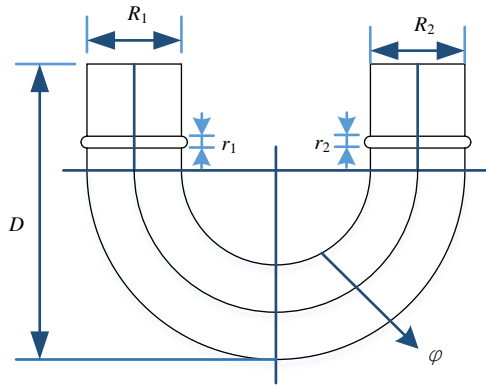
根据线条方向和距离约束完成图像边缘点连接，形成多个参数计算线段。同时，边缘点连接可以去除提取的错误光条中心点。

2.3 零件几何量参数求解

本文以空调主机散热片支撑铜管(短U弯制小型零件)为例进行测量说明，需要测量的几何量参数如图4所示。



(a) 零件实物图



(b) 零件尺寸图

图4 短U弯制小型零件示意图

短U弯制小型零件需要测量的几何量参数主要包括左管直径 R_1 和右管直径 R_2 、左焊环直径 r_1 和右焊环直径 r_2 、零件高度 D 、弯管直径 φ 等。以上测量参数均为几何距离,包括矩形边距离、两直线间距离、两点间距离、点到线距离。此类距离求解需先提取目标边缘得到边缘点集及特征点。

边缘长度或宽度通过求解两边缘距离获得,使用最小二乘法求解直线方程,得到

$$l_1 = a_1x + b_1y + c_1z$$

$$l_2 = a_2x + b_2y + c_2z$$

因拟合直线不一定完全平行,为提高测量精度,以两直线间的平均距离作为直线间距离。根据点到直线的距离公式,计算 l_1 上所有点到 l_2 的平均距离 d_1 和 l_2 上所有点到 l_1 的平均距离 d_2 ,则测量距离为

$$d = k(d_1 + d_2) / 2$$

3 实物实验

测量系统采用C#语言开发,并完成界面设计,系统软件运行界面如图5所示。

由图5可知,测量系统能够实现短U弯制小型零件6个参数的一键快速测量。

利用本文测量系统和影像测量仪对短U弯制小型零件的尺寸进行测量,结果如表1所示。



图5 测量系统软件运行界面

表1 短U弯制小型零件尺寸测量结果 单位: mm

| 测量参数 | 测量系统 测量结果 | 影像测量仪 测量结果 | 测量 误差 |
|----------------|--------------|---------------|----------|
| 弯管直径 φ | 6.750 | 6.745 | 0.005 |
| 左管直径 R_1 | 7.083 | 7.069 | 0.014 |
| 右管直径 R_2 | 7.051 | 7.030 | 0.021 |
| 左焊环直径 r_1 | 1.793 | 1.811 | -0.018 |
| 右焊环直径 r_2 | 1.780 | 1.762 | 0.018 |
| 零件高度 D | 21.701 | 21.710 | -0.009 |

由表1可知,本测量系统和影像测量仪测量结果比对最大误差为0.021 mm。

选用标称值为50 mm的量块作为标准块检验测量系统的测量精度。将量块放置在测量平台的10个不同位置进行测量,测量结果如表2所示。

表2 量块测量结果 单位: mm

| 放置位置 | 测量值 | 误差 |
|--------|----------|----------|
| 1 | 50.019 7 | 0.019 7 |
| 2 | 50.022 5 | 0.022 5 |
| 3 | 49.981 3 | -0.018 7 |
| 4 | 49.980 6 | -0.019 4 |
| 5 | 50.020 6 | 0.020 6 |
| 6 | 49.978 2 | -0.021 8 |
| 7 | 50.013 1 | 0.013 1 |
| 8 | 50.023 7 | 0.023 7 |
| 9 | 50.021 1 | 0.021 1 |
| 10 | 49.982 4 | -0.017 6 |
| 误差 RMS | | 0.02 |

由表 2 可知, 测量误差的标准差为 0.02 mm, 可满足工业测量需求。

4 结论

本文设计的基于机器视觉的小型零件尺寸测量系统, 实现零件多个几何量参数的快速测量, 提高了小型零件的测量效率和可靠性, 为企业推动自动化测量提供基础条件。

参考文献

- [1] 全燕鸣,李倩,黄富华.基于机器视觉的中小零件连续自动检测系统设计[J].自动化与信息工程,2017,38(6):12-18.
- [2] 郭联金,朱日龙,杨国卿,等.浅谈机器视觉技术在自动化制造业中的应用[J].机电一体化,2015,21(8):63-67.

作者简介:

李小菁,女,1991年生,硕士研究生,工程师,主要研究方向:长度计量。E-mail: xjli_author@163.com

(上接第 5 页)

海上风电场、机组基础结构、运维管理等安全管理研究; 3) 技术标准研究, 重点开展海上风电基础理论和共性应用技术、风电检测与认证标准体系、并网相关标准和技术规范等研究创新, 建立健全海上风电技术标准体系; 4) 能效指标评价研究, 重点研究海上风电规模化后电力运行评价指标问题, 包括科学选择和测定海上风电装机可替代率、可用率或其他可客观反映海上风能发电效能的指标。

参考文献

- [1] 中国科协科普部.海上风电:清洁能源新方向[EB/OL]. (2022-10-26)[2023-4-11]. http://www.xinhuanet.com/science/2022-10/26/c_1310670582.htm.
- [2] 陈皓勇,席松涛.海上风电成本构成及价格机制[J].风能, 2022(1):12-15.
- [3] 夏云峰.2021 年全球新增风电装机 93.6GW[J].风能, 2022(6):

作者简介:

林世爵,男,1988年生,硕士研究生,助理研究员,主要研究方向:科技情报、科技战略。E-mail: 462238757@qq.com
刘启强,男,1978年生,硕士研究生,助理研究员,主要研究方向:科技情报、科技传播。E-mail: 79429778@qq.com

- [3] 马文娟.基于机器视觉的零件平面尺寸自动测量[D].济南:山东大学,2006.
- [4] 张晓明.基于 CCD 的小轴径零件全自动测量系统研究[D].西安:西安理工大学,2010.
- [5] 谢红,廖志杰,邢廷文.一种非接触式的圆孔形零件尺寸检测[J].电子设计工程,2016,24(19):155-158.
- [6] 丁海洋,朱兴龙,成沁源.基于单目视觉的圆形物体直径测量方法[J].机械设计与制造工程,2017,46(2):84-86.
- [7] 殷炜棋.轴类零件尺寸的视觉测量技术研究[D].长春:吉林大学,2017.
- [8] 杨宏贤,朱世根,白云峰,等.基于机器视觉的扁平细长带钩零件检测系统研发[J].仪表技术与传感器,2021(5):117-121.
- [9] 张广军.视觉测量[M].北京:科学出版社,2008.
- [10] 胡子文.亚像素视觉测量技术研究[D].武汉:华中科技大学,2019.

- 38-43.
- [4] 赵靛.2022—2031 年全球海上风电市场展望[J].风能, 2022(7):46-51.
- [5] 刘吉臻,马利飞,王庆华,等.海上风电支撑我国能源转型发展的思考[J].中国工程科学, 2021,23(1):149-159.
- [6] 杨新明,徐爱银.“后补贴时代”海上风电如何做大做强[N/OL].南通日报, 2022-06-10[2023-04-11]. <https://www.nantong.gov.cn/ntsrnzf/zwyw/content/cbfd0b01-8763-4df1-bd5-94a8e8ae6a2a.html>.
- [7] 李汉龙.广东:海上风电 风生水起[J].环境,2022(4):24-27.
- [8] 桑桑.不同地区海上风电项目造价及成本构成[EB/OL]. (2020-07-20) [2023-04-24]. <https://news.bjx.com.cn/html/20200720/1090472.shtml>.
- [9] 广东省人民政府.广东省人民政府办公厅关于印发促进海上风电有序开发和相关产业可持续发展实施方案的通知[J].广东省人民政府公报,2021(17):23-29.