

基于机器视觉的电机端盖孔直径的在线测量

梅文豪,李济泽,戴福全

(福建工程学院机械与汽车工程学院,福建福州350118)

摘要: 构建了基于机器视觉的电机端盖孔直径尺寸的在线测量系统,利用 halcon 软件包对 CCD 工业相机参数标定,处理了电机端盖图像,通过边缘特征提取,计算电机端盖孔直径尺寸,与千分尺测量结果对比,验证了本文提出的电机端盖孔直径视觉测量方法能够满足生产需要。

关键词: 电机端盖;视觉;在线测量

中图分类号: TP39

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2018)04-0341-05

Online measurement of the motor cover hole diameter based on machine vision

MEI Wenhao, LI Jize, DAI Fuquan

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350118, China)

Abstract: An online measurement system for the motor cover hole diameter based on machine vision was constructed. The parameters of CCD industrial camera were calibrated with the Halcon software package. The image of the motor cover hole was processed to extract the edge features, with which the size of the motor cover hole diameter was calculated. The measurement results of the micrometer helped verify that the vision-based measurement method for the motor cover hole diameter can meet the production needs.

Keywords: motor cover; vision; online measurement

电机端盖是电机的重要组成部分,固定于电机的侧端外壳上,具有支撑电机轴的作用,并且电机端盖具有减振性能,其加工精度要求高,因此对电机端盖孔直径尺寸的测量十分重要。国内外对孔径尺寸测量的研究已经十分深入,2007年,崔贵波等人^[1]采用超声波检测技术对深孔类零件实现实时测量。2008年,叶树亮等人^[2]研制出了一种针对孔径测量的复合光电测量系统,该测量系统利用双频激光干涉测量方法的测距范围大、测长精度高的特点,结合双向电容传感器的优点,实现不同截面的深孔孔径测量。2013年,王家贵等人^[3]利用迈克尔逊干涉原理,研制出一套可以快速测量多孔径的测量系统。该系统在圆锥棱镜

台不更换的情况下,可以方便快速地测量出多孔孔径半径。由于采用 CCD 传感器和激光发射器,测量能达到微米级别。崔继文等^[4]于 2014 年研制出基于光纤布拉格光栅用于测量微孔尺寸的检测系统。2016 年,赵海峰等^[5]申请的自定心孔径测量机器人,其主要由行走机构和定心机构组成,通过双测距传感器进行测量来实现对大孔径深孔的测量。德国的 PTB、美国的 NIST、英国的 NPL 等科研机构为推动微小孔检测技术的发展做出了卓越的贡献^[6]。MaYZ 等人^[7]利用电容测头、二维微调机构以及计算机控制技术,研制出了一台精度高、响应快的非接触式电容测量系统,有效地解决了小深孔直径测量系统测量的问题。本文将

收稿日期: 2018-05-28

基金项目: 福建省数控装备技术重大研发平台(2014H2002);福建省自然科学基金(2018J05099);机器人及应用技术(KY030058)

第一作者简介:梅文豪(1989-),男,湖北武汉人,硕士研究生,研究方向:机器视觉。

通信作者:李济泽(1977-),男,福建福州人,副教授,博士,研究方向:机器人控制技术。

利用机器视觉对电机端盖孔直径进行在线测量,以满足电机端盖自动化生产的检测要求。

1 电机端盖孔直径尺寸视觉测量系统

电机端盖孔直径尺寸视觉测量系统如图 1,由计算机、采集卡、CCD 工业相机、光源、工作台与支架等组成。CCD 工业相机和图像采集卡构成视觉采集单元,主要负责采集电机端盖图片,采集卡发出信号,CCD 工业相机采集图像。采集后的图像传输至计算机,并对获取工件图像进行处理,提取工件边缘特征,计算出所需尺寸大小。

选用 FL3-U3-13Y3M-C 型面阵 CCD 工业相机,型号为 FV1520 的镜头,OPT machine vision 面光源作为本实验的照明系统。halcon 视觉算法包拥有应用广泛的机器视觉集成开发环境,本测量系统在该软件包基础上进行二次开发,标定相机参数,对电机端盖图像进行处理,最终实现电机端盖孔直径的测量。

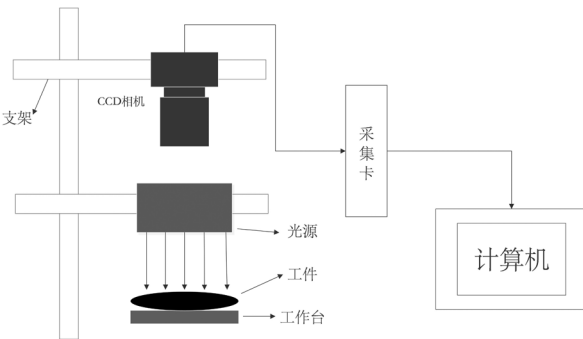


图 1 电机端盖孔直径尺寸视觉测量系统

Fig.1 Vision-based measurement system for motor cover hole diameter

2 相机参数标定

2.1 CCD 工业相机模型

在图像处理之前,需要确定 CCD 工业相机内、外参数,在 CCD 工业相机中摄像机、图像、成像和世界坐标系建立联系,从而确定二维图像和世界坐标系中被测工件的转换关系,确定每个像素所对应的实际尺寸,计算出被测物体的实际尺寸^[8],如图 2。

图 2 从空间点到图像平面点分 4 个步骤:

1) 世界坐标系空间点 P_w 转换成相机坐标系点 P_c 。

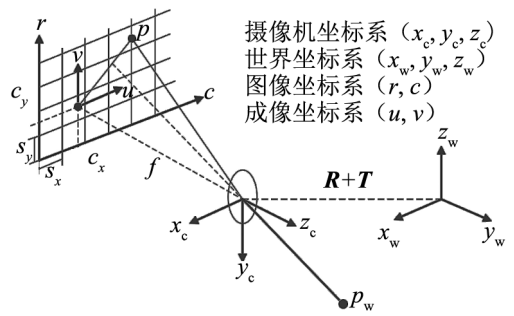


图 2 坐标系转换

Fig.2 Coordinate system conversion

$$P_c = RP_w + T \quad (1)$$

其中,相机外参数 $R_{(a,b,c)}$ 是旋转矩阵; $T(x,y,z)^T$ 是平移向量。

2) 相机坐标系 P_c 变换成平面成像坐标系 $p(u,v)$,如图 3,他们之间的投影关系:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \frac{f}{Z_c} \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \end{pmatrix} \quad (2)$$

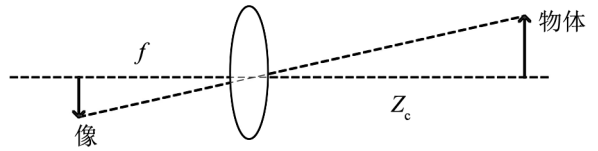


图 3 物体成像

Fig.3 Object imaging

图 3 中, f 是相机的像距即成像平面与投影中心的距离; x_c, y_c, Z_c 是 P_c 在相机坐标系中的坐标,同时 Z_c 也表示物体离镜头的距离。

3) 由 2) 可知 P_c 变换成平面成像坐标系,在平面成像坐标系中的坐标为 $P(u,v)$,由于相机镜头存在径向畸变,因此 $P(u,v)$ 经过畸变之后在平面成像坐标系中产生了新的坐标 $P_1(\tilde{u}, \tilde{v})$ 。

$$\begin{pmatrix} \tilde{u} \\ \tilde{v} \end{pmatrix} = \frac{2}{\sqrt{1 - 4k(u^2 + v^2)}} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \quad (3)$$

参数 k 表示径向扭曲的大小,若 k 为负数,则扭曲为桶型畸变, k 为正则是枕型畸变。

4) $P_1(\tilde{u}, \tilde{v})$ 转换到图像坐标系

$$\begin{pmatrix} r \\ c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\tilde{v}}{S_y} + C_y \\ \frac{\tilde{u}}{S_x} + C_x \end{pmatrix} \quad (4)$$

式(4)中, C_x, C_y 为摄影中心在成像平面的垂直投影; S_x, S_y 为图像传感器在水平和垂直方向上相邻像素之间的距离。 f, k, S_x, S_y, C_x, C_y 为相机的内参数, x, y, z, a, b, c 为外部参数。确定 CCD 工业相机的内、外参数, 消除相机畸变是实现相机标定的前提条件。

2.2 相机标定

利用 halcon 中的标定算子, 获取 CCD 工业相机内、外参数^[9]。

1) 为保证能准确提取标定板中圆点信息, 标定板尺寸大小一般为采集图像范围大小的 1/4 ~ 1/2。为提高标定精度, 标定板应放置在不同位置, 使采集到的标定板图像覆盖整个图像采集范围, 因此在不同位置采集标定板图像 13 张。采用 100 mm×100 mm 的圆点型标定板, 如图 4。

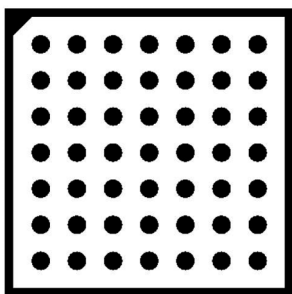


图 4 圆点型标定板

Fig.4 Dot type calibration plate

2) 运用 halcon 中的算子标定, 使用算子 create_calib_data 创建标定模型、set_calib_data_cam_param 设置相机参数和相机类型、set_calib_data_calib_object 在标定模型中指定标定板描述文件, 运用算子 read_image 读取采集的标定板图像、find_caltab 寻找标定板区域, 如图 5 为标定所需要的标定板区域, 运用算子 find_marks_and_pose 获取标定板信息和预估外参数、set_calib_data_observ_points 存储标定板信息到标定模型, 根据以上标定过程构建标定流程如图 6。

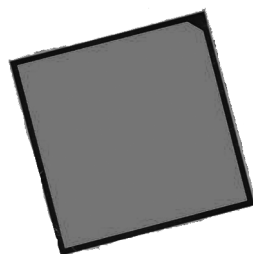


图 5 标定板标定区域

Fig.5 Calibration area on the calibration plate

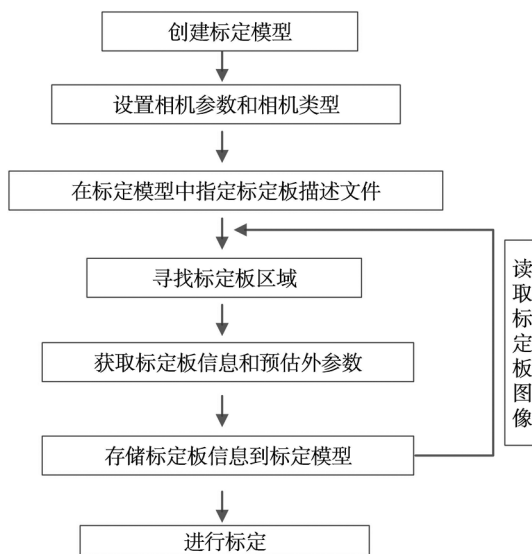


图 6 标定流程图

Fig.6 Calibration flow chart

所有标定板图像数据收集存储到标定模型中, 再用算子 calibrate_cameras 对标定模板进行标定, 由于圆点型标定板存在一定的厚度, 使用算子 set_origin_pose (Replaced, -0.09, -0.08, -0.001 3, PoseNewOrigin) 设置新的 3D 位置。以其中一个标定板图像作为参考位姿进行标定, 再由算子 get_calib_data 获取 CCD 工业相机的内、外参数, 如表 1。

表 1 相机内、外部参数

Tab.1 Internal and external parameters of the camera

参数	标定值
单个像元的宽 $S_x/\mu\text{m}$	12.012 7
单个像元的高 $S_y/\mu\text{m}$	12
焦距/mm	11.61
$\text{Kappa}/\text{m}^{-2}$	-133.981
中心点 x 坐标 $C_x/\text{像素}$	573.065
中心点 y 坐标 $C_y/\text{像素}$	439.311

续表

参数	标定值
图像宽/mm	1 280
图像高/mm	1 027
平移向量 x /mm	-95.975 2
平移向量 y /mm	-44.766 7
平移向量 z /mm	132.771
旋转度数 a /($^{\circ}$)	0.056 734 9
旋转度数 b /($^{\circ}$)	359.733
旋转度数 c /($^{\circ}$)	345.43

3 电机端盖孔直径测量

分别测量 4 个不同型号的电机端盖,如图 7,电机端盖 1 孔直径 28 mm(± 0.1 mm),电机端盖 2 孔直径 42 mm(± 0.1 mm),电机端盖 3 孔直径 48 mm(± 0.1 mm),电机端盖 4 孔直径 60 mm(± 0.1 mm)。



图 7 电机端盖

Fig.7 Motor cover

在 halcon 中确定每个像素所对应的实际尺寸为 0.000 15 m,运用算子 `gen_image_to_world_plane_map` 生成改变径向畸变映射图、`read_image` 读取 CCD 工业相机采集的电机端盖图像,如图 8;运用算子 `map_image` 映射转换图像使畸变图像转换为无畸变图像,得到变换之后的图像如图 9。



图 8 工业相机采集图像

Fig.8 Image acquired by the industrial camera

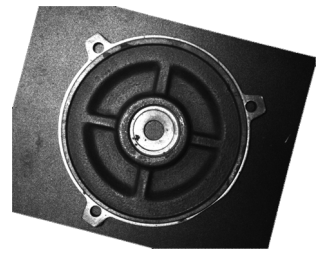


图 9 变换图像

Fig.9 Image transformation

运用 `threshold` 算子对图 9 灰度图像进行二值化处理,再运用 `connection` 算子对处理后的图像进行联通处理,用 `select_obj` 算子选择所需要测量的孔直径区域,结果如图 10。使用 `reduce_domain` 算子减小图像的域、`fill_up` 填充区域、`shape_trans` 改变区域形状,再运用 `gen_contour_region_xld` 获取区域 `xld` 边缘、`shape_trans_xld` 改变边缘轮廓等一系列边缘特征算子提取所需要的孔直径边缘特征如图 11,其中黑线表示边缘特征。

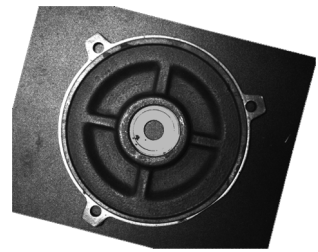


图 10 选择的区域

Fig.10 Selected area



图 11 边缘特征

Fig.11 Edge features

运用算子 `diameter_xld` 得出电机端盖孔直径有多少个像素点 `Diameter`,计算 `Diameter * PixelDist` 得出实际孔直径尺寸。

使用型号为 G-90C 的三坐标测量仪对电机端盖孔直径进行测量,此三坐标测量仪的精度可达到 2 μm ,得出测量结果。如图 12 为 G-90C 三坐标测量仪。



图12 三坐标测量仪

Fig.12 Three-coordinate measuring instrument

使用内径千分尺对4个电机端盖孔直径进行

测量,每个孔直径测量5次,测量结果求其平均值;利用研发的机器视觉测量系统对4个电机端盖孔直径进行测量,得出测量结果。

将三坐标测量仪测量结果、视觉测量结果与千分尺测量结果进行对比如表2。由表2可见,视觉测量系统与内径千分尺测得各端盖孔直径尺寸均符合要求,视觉测量结果和三坐标测量仪测量结果尺寸差较千分尺和三坐标测量仪的尺寸差小,得出视觉测量比人工检测精度更好,因此视觉系统可满足电机端盖孔直径自动化测量的要求。

表2 三坐标测量仪、视觉测量与千分尺测量结果对照表

Tab.2 Comparison table of results acquired with three-coordinate measuring instrument, vision-based measurement and micrometer measurement respectively

编号	尺寸要求	三坐标测量仪测量结果	千分尺测量结果	机器视觉在线测量结果
电机端盖1	28±0.1	28.004	28.048	27.965 8
电机端盖2	42±0.1	42.008	41.935	42.054 6
电机端盖3	48±0.1	48.006	47.957	47.983 2
电机端盖4	60±0.1	60.012	60.085	60.064 2

mm

4 结论

通过构建一种基于机器视觉的在线测量系

统,实现了对电机端盖孔直径尺寸的有效测量,验证了机器视觉在线测量为可行的电机端盖孔直径尺寸测量方法。

参考文献:

- [1] 崔贵波,吴伏家,常兴.深孔加工过程中实时检测的研究[J].解决方案,2008(3):66-69.
- [2] 叶树亮,谭久彬.基于动态阿贝原则的高精度激光深孔内径测量[J].光电子·激光,2008,8(15):971-974.
- [3] 王家贵,李林峰.基于迈克尔逊干涉原理的孔径测量及装置设计[J].工具技术,2013,47(4):58-60.
- [4] CUI J, FENG K, HU Y, et al. A twin fiber bragg grating probe for the dimensional measurement of microholes[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 2014, 26(17): 1778-1781.
- [5] 赵海峰,郭燕,段向军,等.自定心孔径测量机器人:20160910843252. X[P], 2016-09-23.
- [6] ANBALT K, ZELENJUK A, TAUBERT D R. New PTB setup for the absolute calibration of the spectral responsivity of radiation thermomete[J]. International Journal of ThermoPhysics, 2009, 30(1): 192-202.
- [7] MA Y Z, YU Y X, WANG X H. Diameter measuring technique based on capacitive probe for deep hole or oblique hole monitoring[J]. Measurement, 2014, 47(1): 42-44.
- [8] 张世杰,曹喜滨,张凡,等.基于特征点的空间目标三维位姿单目视觉确定算法[J].中国科学,2010,40(4):591-604.
- [9] LUO Z X, XUE L, SUN F J, et al. Camera calibration based on HALCON[J]. Video Engineering, 2010(4): 102-104.

(责任编辑:陈雯)