

基于机器视觉的内丝接头尺寸测量系统设计

李晋鑫 沙玲

(上海工程技术大学 机械与汽车工程学院 上海 201620)

摘要: 针对实际工业检测中内丝接头的凹槽尺寸人工测量存在效率低,精度低测量不一致等问题,开发了一个基于机器视觉的内丝接头凹槽尺寸测量系统,首先利用形态学定位凹槽位置,然后用双边滤波结合 Roberts 算子精确寻找凹槽的边缘,最后用最小二乘法将边缘拟合为直线段,利用 Halcon 图像处理软件计算直线段之间的最小距离,通过 C# 联合 Halcon 库创建界面显示测量结果。实验测试结果表明,本系统测量精度为 ± 0.01 mm,测量系统的检测准确率为 98.73%,漏检率为 0,过检率为 1.27%;在检测时间上,检测一个工件的平均时间为 0.37 s。该系统测量精度高、测量稳定、运行速度快,因此可以有效地取代工业检测中的人工测量。

关键词: 内丝接头;尺寸测量;边缘检测

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.6040

Design of inner wire joint size measurement system based on machine vision

Li Jinxin Sha Ling

(School of Mechanical and Automotive Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: Aiming at the problems of low efficiency, low accuracy and inconsistent measurement in the manual measurement of the groove size of the inner wire joint in the actual industrial inspection, a groove size measurement system of the inner wire joint based on machine vision is developed. Firstly, the groove position is located by morphology, and then the edge of the groove is accurately found by bilateral filtering combined with Roberts operator. Finally, the edge is fitted into straight line segments by the least square method, the minimum distance between straight line segments is calculated by Halcon image processing software, and the measurement results are displayed by C# combining Halcon library. The experimental results show that the measurement accuracy of the system is ± 0.01 mm, the detection accuracy of the measurement system is 98.73%, the missed detection rate is 0, and the over detection rate is 1.27%. In terms of detection time, the average time for detecting a workpiece is 0.37 s. The system has high measurement accuracy, stable measurement and fast operation speed, so it can effectively replace the manual measurement in industrial detection.

Keywords: internal wire connector; dimensional measurement; edge detection

0 引言

在汽车制动系统中,内丝接头连接制动软管和制动器,制动油通过制动软管输入制动器,内丝接头的凹槽起到密封油液和定位的作用。但是在切削凹槽时工件姿态发生变化会引起凹槽的尺寸变化,导致内丝接头的装配精度降低,从而影响汽车的制动性能。

目前企业中使用游标卡尺或者螺旋测微仪进行人工测量,但是存在精确度低、效率低、以及测量不一致等问题,不能满足生产需求^[1]。而机器视觉测量系统不仅能减小人力成本,而且极大地提高了检测的效率和准确度^[2]。在国内利用机器视觉对物体进行测量的研究中,王希波等^[3]利用

结构光对轮胎花纹深度进行测量能够快速的自动识别花纹数量和轮胎花纹的深度精度也能达到 0.02 mm,但是硬件成本较高;唐松等^[4]利用 Canny 边缘检测算子和双线性插值法对阀芯进行测量得到精度达到亚像素级的精度,但是对于普通光源的漫反射造成图像边缘处模糊的情况未考虑到;在国外,Wen 等^[5]使用激光扫描和多视点立体视觉的方法测量了高温金属构件的尺寸,实现了对高温金属件的非接触式测量;Emam 等^[6]使用两个摄像头对瓷砖只拍摄一对图像,然后矫正图像畸变后建立立体视觉图像,对立体图像进行测量,测量瓷砖出的几何参数符合 ISO10545-2 标准,并讨论了测量的高精度和高速度;Xiao 等^[7]在线测量

旋压工件尺寸,对相机标定并获取实时图像,通过感兴趣区域(ROI)提取、图像去模糊、去噪和边缘检测,提取了锥形旋压工件的边缘,然后测量直线度与圆度,最后与三维测量机的结果比较,验证了该方法尺寸精度测量的可靠性。本文利用机器视觉对内丝接头凹槽的槽宽和槽高进行测量,使用双圆心镜头和平行光背光打光的光学方案精确突显凹槽部位的边缘轮廓,利用获取的边缘轮廓计算凹槽尺寸,文中针对图像处理中边缘提取做了改进,从而进一步提高了边缘提取精度,最后开发出视觉检测软件,实现了从图像采集到图像处理再到界面结果显示的集成。通过大批量的实验测量,并比较测量结果,表明本方法在机器视觉测量系统中具有精确性、高效性和稳定性,提高了工业生产中检测的准确性,在降低工业生产成本的同时也提高了工业生产质量、效率。

1 系统方案设计

系统整体结构主要由工控机、Gige 网卡、工业相机镜头、光源以及旋转工作台组成如图 1 所示。软件设计是由 Visual Studio 2019 平台、C# 窗体应用设计和 Halcon 库组成的。系统实现尺寸的实时检测步骤:1)图像获取;2)图像处理与测量;3)结果输出。

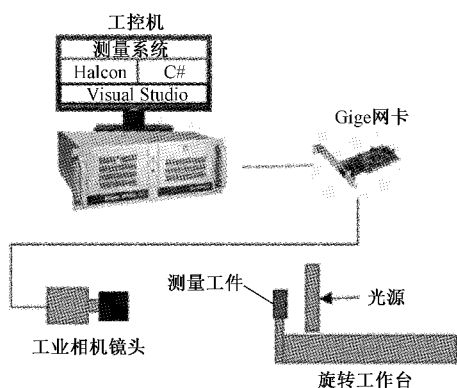


图 1 系统结构组成

1.1 系统的光学方案

如图 2 所示内丝接头的凹槽尺寸测量需要突显出边缘轮廓,由于凹槽表面为光滑的圆柱面,如果采用普通面光源如图 3(a)所示,由于漫反射的作用使得工件侧表面也会打亮,相机成像后轮廓处会有模糊亮斑导致轮廓位置不精确,采用背光方式打光使用平行面光源如图 3(b)所示,平行光线保证工件边缘轮廓的清晰度和精确度。因此检测凹槽的尺寸采用背光的打光方式如图 4 所示。

1.2 图像获取

测量系统使用 CCD 相机配合远心镜头进行图像获取。由于 CCD 相机具有体积小、抗震动、抗强光、畸变小、寿命长、图像清晰等优点,适合在工作环境较差的条件下获取高质量图像^[8-9];为了避免普通镜头成像产生的近大远小的情况,采用远心镜头,使得在一定物距范围内的图像放大倍率

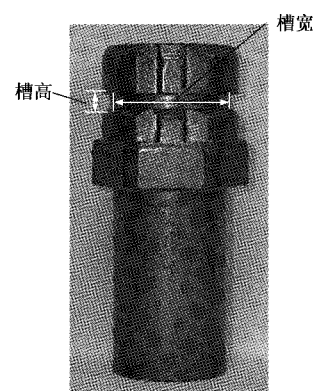
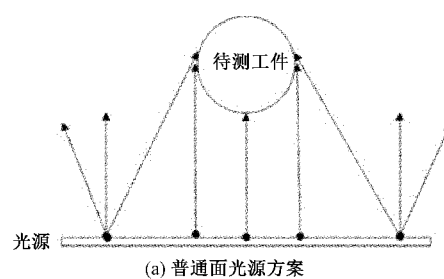
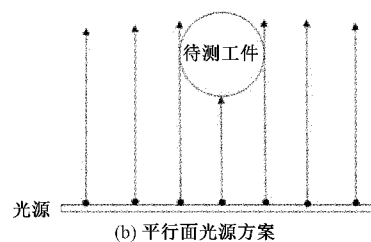


图 2 内丝接头凹槽



(a) 普通面光源方案



(b) 平行面光源方案

图 3 背光方案

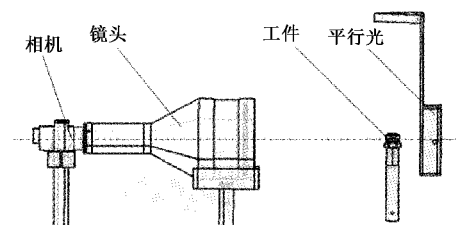


图 4 凹槽光源打光方式

不会随物距的变化而变化。在图像获取时,通过 C# 调用相机 SDK 开发包调节相机参数以及触发相机拍照^[10],最后将图像数据通过 Gige 输入工控机,图 5 是获取的图像效果图。

1.3 图像处理

1) 定位测量区域

根据内丝接头凹槽处的形状特征,使用形态学差分法定位凹槽位置,具体工作流程如图 6 所示。

获取待测量图像如图 7(a)所示,计算图 7(a)工件部分区域的平均灰度值确定阈值的大小,平均灰度值的计算采用实验法,实验总共使用 150 张图像,分别计算工件区域的

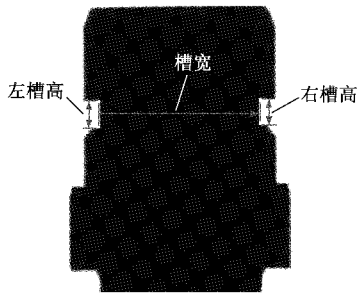


图 5 图像效果图

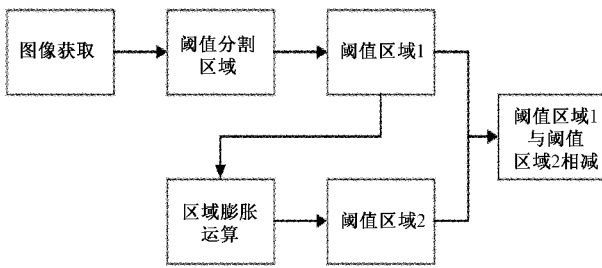


图 6 形态学差分法流程

平均灰度值为 3.35,因此本文使用 0~4 的阈值区间将工件区域分割出,如图 7(b)所示为阈值区域 1。

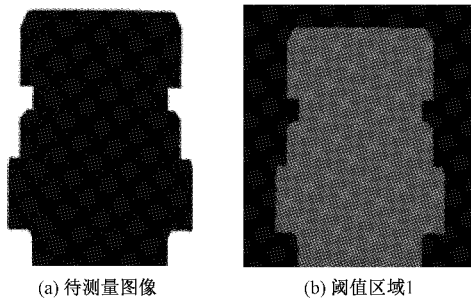


图 7 阈值分割前后图

将阈值区域 1 进行膨胀处理,目的是将凹槽全部填满。在阈值区域的竖直方向上膨胀区域,水平方向不膨胀,因此选择膨胀矩形的长度为 1 像素点;测量凹槽的最大高度为 140 像素点,为了将凹槽全部填充,选择 200 像素点作为膨胀矩形的高,使用该矩形对阈值区域 1 进行膨胀处理,得到如图 8 所示阈值区域 2。将阈值区域 2 与阈值区域 1 进行区域差分,获得两者的差异区域如图 9 所示。通过形状特征选择将图 9 中的凹槽区域提取出,然后分别计算出左右凹槽的中心坐标。

2)边缘轮廓提取

根据左右凹槽的中心坐标,创建测量区域,并减少轮廓提取范围。左右凹槽的最大高度都为 140 像素点,水平宽度为 30 像素点,分别以左右凹槽的中心坐标为矩形中心,建立 2 个 160×40 且平行于纵轴的矩形测量区域如图 10(a)所示;测量槽宽的最大距离为 1100 像素点,因此以左右凹槽中心连线的中点作为槽宽坐标中心点,建立

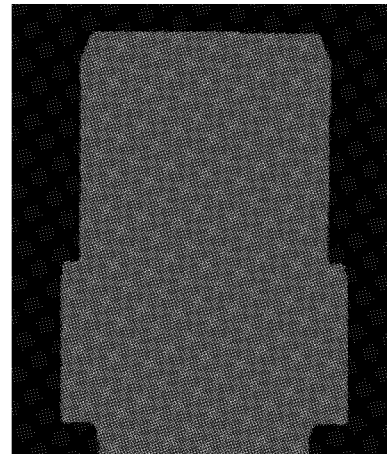


图 8 阈值区域 2

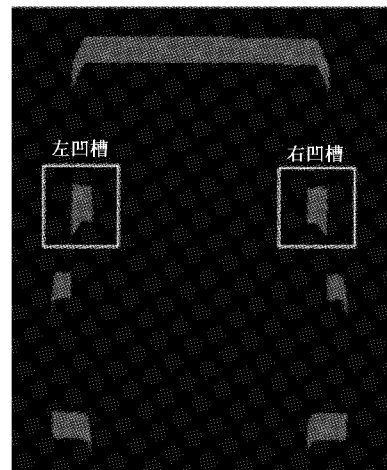


图 9 差异区域图

1 个 1400×40 且平行于横轴的矩形测量区域如图 10(b)所示。以上建立的 3 个矩形测量区域为左凹槽、右凹槽、凹槽宽,分别提取左右凹槽的上下边缘和凹槽宽的左右边缘如图 11 所示。

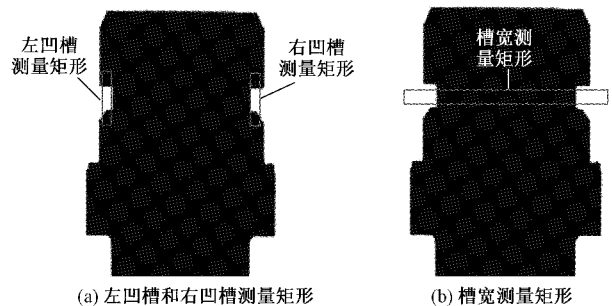


图 10 测量矩形

本文测量上下边缘和左右边缘的距离需要精确定位凹槽的边缘,采用 Roberts 算子检测边缘精度高^[11-13],且在检测水平和垂直边缘的效果好于斜向边缘,但是 Roberts 算子在检测边缘时受噪声干扰大,因此首先使用双边滤波除去图像噪声,再用 Roberts 算子进行边缘检测。



图11 凹槽边缘图

双边滤波是在高斯滤波的基础上加入了像素值权重项,在像素值出现跃变的边缘区域,高斯滤波会使边缘变模糊,而加入像素值权重项之后,除了高斯滤波考虑到的距离权重的影响,也考虑到像素值差异的影响,像素值越相近,权重越大^[14],即滤波结果如式(1)所示。

$$BF = \frac{1}{W_q} \sum_{p \in S} G_s(p) G_r(p) * I_p = \frac{1}{W_q} \sum_{p \in S} \exp\left(-\frac{\|p - q\|^2}{2\sigma_s^2}\right) \exp\left(-\frac{\|I_p - I_q\|^2}{2\sigma_s^2}\right) * I_p \quad (1)$$

其中, W_q 为滤波窗口内每个像素的权重项。在边缘区域,边缘同侧的 G_r 值相近,且远大于边缘另一侧的 G_r 值,空间距离权重 G_s 主导滤波效果,此时另一侧的像素点的权重对滤波结果几乎不影响,边缘得到保护^[15]。如图12所示为双边滤波前与滤波后的对比图。

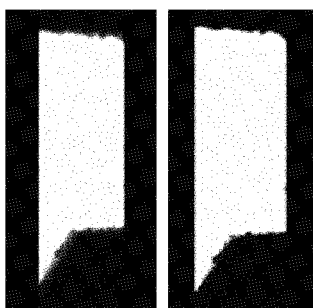


图12 双边滤波前后对比图

Roberts算子是一种利用局部差分算子寻找边缘的算子如式(2)所示,该算子是 2×2 算子模板,如图13所示的两个卷积核形成了 Roberts 算子^[16],图像上的每个点都用这两个核做卷积,即边缘检测结果如图14所示。

$$g(x, y) = [f(x, y) - f(x + 1, y + 1)]^2 + [f(x + 1, y) - f(x, y + 1)]^2 \quad (2)$$

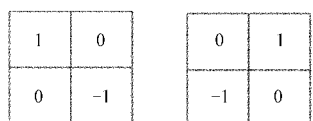


图13 Roberts算子卷积核

3)最小二乘法拟合直线

在测量凹槽的上下两条边缘轮廓线和槽宽的左右两条边缘轮廓线时,由于边缘轮廓曲折,所测量出的值不精确,将轮廓线拟合为直线段,可以有效地提高测量精度。本文

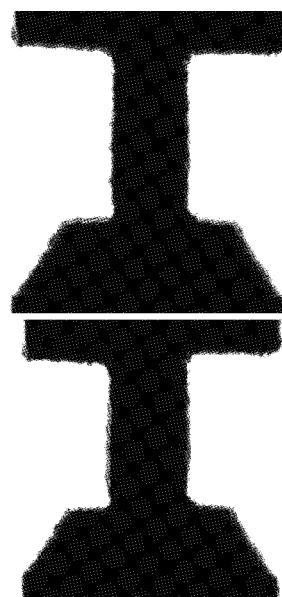


图14 边缘检测结果

使用最小二乘法可以方便快捷的拟合为直线段。直线拟合的问题是确定 $y = ax + b$ 中常数 a 和 b 的值,使得计算值 y 与实际值 y_i 的偏差最小,即式(3)所示为 a 和 b 的值,拟合结果如图15所示。

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (3)$$

$$b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i - \frac{a}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

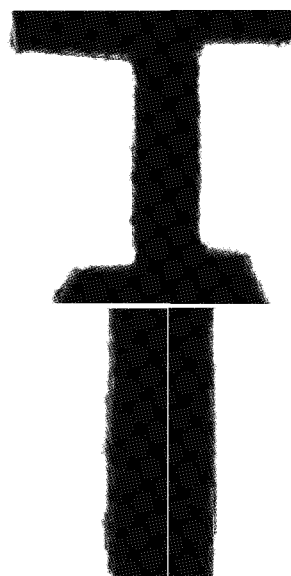


图15 拟合结果

4)一维测量标定与输出

分别计算每对边缘对的像素距离,使用 Halcon 库中计

算边缘对距离的 distance_ss 算子,可以计算得出两条线段之间的最小距离。distance_ss 算子所输出的结果是以像素为单位的,需要用标准工件进行标定。采用标准工件进行尺寸标定,获取凹槽尺寸实际值和像素尺寸之间的测量系数,标定公式如式(4)所示。

$$K = \frac{L}{l} \quad (4)$$

式中: L 为凹槽的实际尺寸,mm; l 为凹槽的像素尺寸。根据所得的测量系数 K , 用式(5)计算出待测量工件的实际结果,结果由 C# 界面输出如图 16 所示。

$$L_i = K * l_i \quad (5)$$

2 结果分析

先对一个标准工件的槽高和槽宽进行 15 次实际测量,

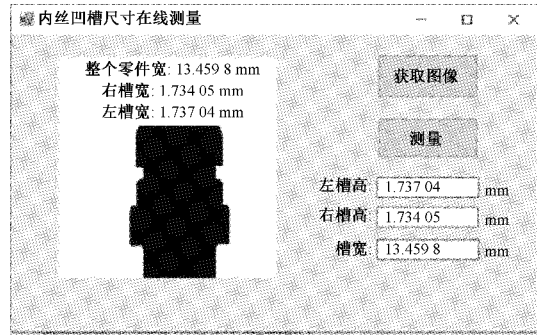


图 16 测量输出界面

然后用系统对该标准工件的槽高和槽宽也进行 15 次测量,最后获得平均 K 值,将该值作为系统的测量系数。如表 1 所示凹槽的测量系数。

表 1 凹槽的测量系数

测量次数	左槽高(实际测量)/mm	右槽高(实际测量)/mm	槽宽(实际测量)/mm	左槽高(系统测量)/pixel	右槽高(系统测量)/pixel	槽宽(系统测量)/pixel
1	1.64	1.64	13.83	131.321	131.344	1 107.453
2	1.64	1.64	13.83	131.332	131.352	1 107.428
3	1.64	1.64	13.83	131.341	131.345	1 107.421
4	1.64	1.64	13.83	131.331	131.349	1 107.428
5	1.64	1.64	13.83	131.330	131.347	1 107.429
6	1.64	1.64	13.83	131.315	131.344	1 107.431
7	1.64	1.64	13.83	131.329	131.351	1 107.421
8	1.64	1.64	13.83	131.317	131.345	1 107.425
9	1.64	1.64	13.83	131.326	131.344	1 107.428
10	1.64	1.64	13.83	131.330	131.344	1 107.428
11	1.64	1.64	13.83	131.331	131.349	1 107.426
12	1.64	1.64	13.83	131.340	131.349	1 107.426
13	1.64	1.64	13.83	131.343	131.351	1 107.428
14	1.64	1.64	13.83	131.338	131.344	1 107.428
15	1.64	1.64	13.83	131.334	131.349	1 107.426
实际值	1.64	1.64	13.83	—	—	—
系统测量值	—	—	—	131.331	131.347	1 107.428
平均 K 值/(mm/pixel)	0.012 49					

将游标卡尺对 50 个测试工件的凹槽测量的值作为参考尺寸值,然后系统利用 K 值对该 50 件凹槽进行测量,通过对比二者之间的差值可以得到系统的测量精度。如图 17(a)~(c)所示分别为左槽高测量值、右槽高测量值、槽宽测量值,从图中可以看出每个工件的卡尺测量值与系统测量值不大,由图 17(d)误差图可以看出,左槽高、右槽高、槽宽的最大误差值都低于 1 个像素 0.012 49 mm,满足测量要求,论证了测量系统的可行性。

本文对于边缘的提取采用的是双边滤波结合 Roberts 算子更加精确的提取到凹槽边缘,与 Canny 算子提取边缘

相比精度更高,如表 2 所示,表 2 中分别用 Canny 算子(测量值 1)、双边滤波结合 Roberts 算子(测量值 2)测量凹槽的尺寸,并与实际卡尺测量结果相对比。由表 2 可以看出,Canny 算子测量的平均相对误差都低于双边滤波结合 Roberts 算子测量的平均相对误差。说明本文提出的边缘检测方法提取的边缘精度高于 Canny 算子提取的边缘精度。

本文提出的边缘检测方法提高了检测精度,同时为了验证本方法在实际检测中的稳定性与准确率,用 1 500 个已经人工检测的工件做实验,实验分 3 组,每组检测 500 个工件,测试结果如表 3 所示。从表 3 可以看出,测量系统的

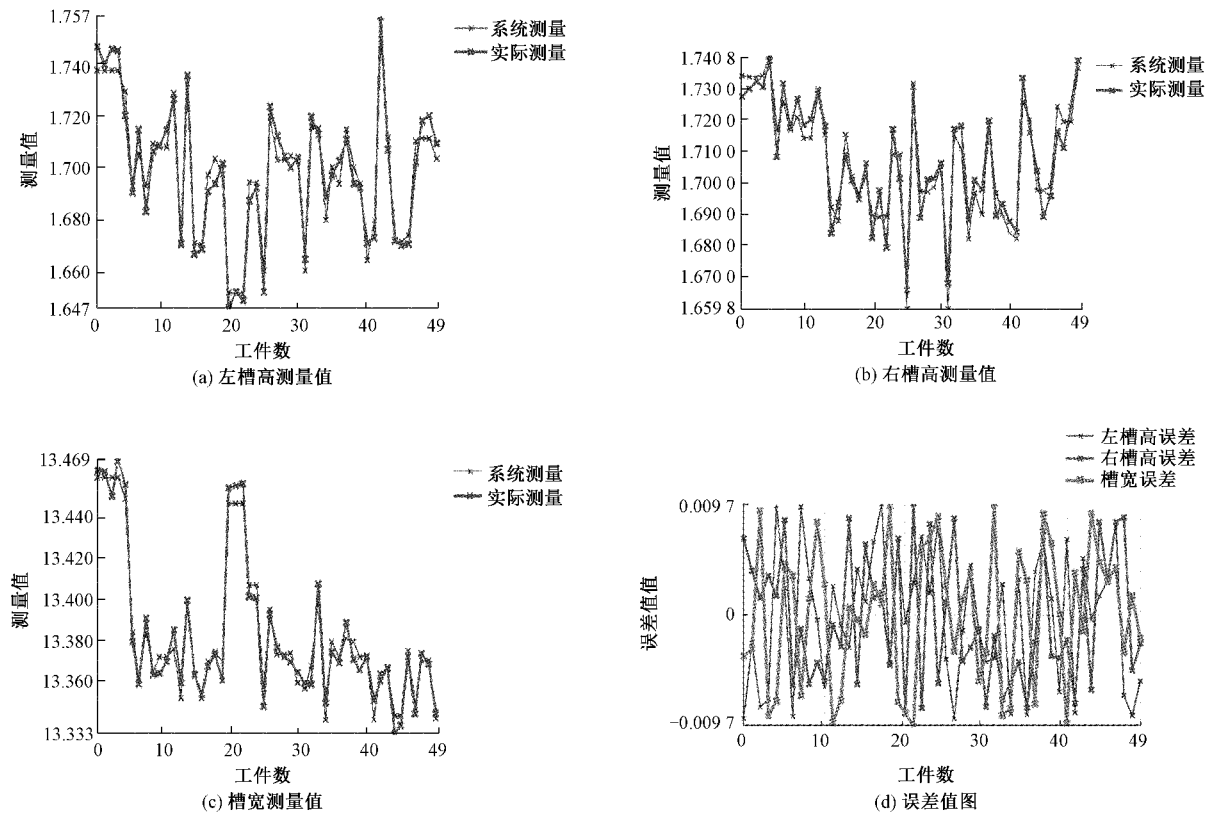


图 17 实验工件的系统测量值与游标卡尺测量值对比图

表 2 凹槽尺寸测量数据对比

序号	测量值 1/mm			测量值 2/mm			实际值/mm			相对误差 1/%			相对误差 2/%		
	左槽	右槽	槽宽	左槽	右槽	槽宽	左槽	右槽	槽宽	左槽	右槽	槽宽	左槽	右槽	槽宽
1	1.60	1.60	13.75	1.63	1.63	13.82	1.64	1.64	13.83	2.44	2.44	0.36	0.61	1.25	0.07
2	1.57	1.57	13.80	1.62	1.62	13.83	1.60	1.60	13.85	1.88	1.88	0.36	1.25	1.25	0.14
3	1.69	1.69	13.78	1.66	1.66	13.85	1.67	1.67	13.83	1.20	1.20	0.36	0.60	0.60	0.14
4	1.58	1.58	13.75	1.63	1.63	13.82	1.65	1.65	13.81	4.24	4.24	0.43	1.21	1.21	0.07
5	1.59	1.59	13.80	1.66	1.66	13.84	1.63	1.63	13.83	2.45	2.45	0.22	1.84	1.83	0.07
6	1.54	1.54	13.75	1.60	1.60	13.82	1.58	1.58	13.81	2.53	2.53	0.43	1.27	1.27	0.07
7	1.61	1.61	13.72	1.69	1.69	13.75	1.66	1.66	13.77	3.01	3.01	0.22	1.81	1.81	0.14
8	1.75	1.75	13.80	1.72	1.72	13.78	1.70	1.70	13.76	2.94	2.94	0.29	1.18	1.18	0.15
9	1.73	1.72	13.71	1.70	1.70	13.78	1.68	1.68	13.75	2.98	2.38	0.29	1.19	1.19	0.22
10	1.69	1.69	13.78	1.75	1.75	13.83	1.74	1.74	13.81	2.87	2.87	0.22	0.57	0.57	0.14
平均相对误差										2.65	2.59	0.32	1.15	1.22	0.12

表 3 检测结果

批次	检测数量	不良品个数	漏检个数	过检个数	漏检率/%	过检率/%	准确率/%	检测时间/s
1	500	45	0	6	0	1.20	98.80	0.39
2	500	60	0	9	0	1.80	98.20	0.37
3	500	40	0	4	0	0.80	99.20	0.33
总计	1 500	145	0	19	0	1.27	98.73	0.37

检测准确率为 98.73%，漏检率为 0，过检率为 1.27%；在检测时间上，检测一个工件的平均时间为 0.37 s；综合以上检测结果考虑，基于机器视觉的内丝接头尺寸测量系统能够达到实际工业的检测要求。

3 结 论

本文开发了一个基于机器视觉的内丝接头凹槽尺寸测量系统，利用平行光源取代普通面光源的打光方式，进一步提高了图像边缘处的成像质量，利用工件的形状特征准确的定位测量位置，并利用双边滤波联合 Roberts 算子更精确地提取轮廓边缘，用最小二乘法将边缘拟合为直线段，最后测量直线段之间的最小距离，并使用 C# 联合 Halcon 库创建实时测量界面，实现了内丝接头凹槽尺寸的自动化测量。经过对比人工测量结果，机器视觉测量系统具有更高的精度和更高的效率，满足工业检测过程对快速性、稳定性以及准确性的要求。该视觉检测方法能广泛的应用于零部件的外观尺寸测量。本文对于测量区域的定位方法仅适用于同类凹槽的形状，为了使定位方法更为广泛的应用于所有工件，提高定位方法的鲁棒性是该系统进一步改善和研究方向。

参考文献

- [1] 苗璐,景文博,蔡立娟,等. 基于机器视觉的焊缝宽度测量方法[J]. 长春理工大学学报(自然科学版),2018,41(1):114-118.
- [2] 宋帅帅,黄锋,江燕斌. 基于机器视觉几何量测量技术研究进展分析[J]. 电子测量技术,2021,44(3):22-26.
- [3] 王希波,李爱娟,高金胜,等. 基于机器视觉的轮胎花纹深度测量系统研究[J]. 国外电子测量技术,2019,38(4):66-70.
- [4] 唐松,杨其华,刘刚海. 基于 Halcon 的阀芯尺寸亚像素级测量[J]. 计算机工程与应用,2017,53(3):237-241.
- [5] WEN X, WANG J P, ZHANG G Y, et al. Three-dimensional morphology and size measurement of high-temperature metal components based on machine vision technology: A review[J]. SENSORS,2021,21(14):4680-4680.
- [6] EMAM S M, SAYYEDBARZANI S A. Dimensional deviation measurement of ceramic tiles according to ISO 10545-2 using the machine vision [J]. 2019 International Journal of Advanced Manufacturing Technology,2019,100(5):1405-1418.
- [7] XIAO G F, LI Y T, XIA Q X, et al. Research on the on-line dimensional accuracy measurement method of conical spun workpieces based on machine vision technology[J]. Measurement,2019,148:106881.
- [8] GONZALEZ R C, WOODS R E. 数字图像处理(第三版)[M]. 阮秋琪,阮宇智,译. 北京:电子工业出版社,2017.
- [9] 刘国华. HALCON 数字图像处理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2018.
- [10] 龚渠,张伟,李丽. 基于 Halcon 的拨叉脚端面尺寸测量[J]. 工具技术,2020,54(9):86-89.
- [11] 张喜民,余奇颖,张金博,等. 基于机器视觉的手机尾插件精密测量方法研究[J]. 仪器仪表学报,2019,40(10):47-54.
- [12] 粟序明,方成刚,洪荣晶,等. 基于机器视觉的轴类零件定位与测量系统[J]. 机械设计与制造,2020,7(7):250-254.
- [13] 王庆海. 基于 HALCON 的金刚石颗粒参数测量技术研究[J]. 制造业自动化,2015,7:56-59.
- [14] 方志强,熊禾根,肖书浩,等. 基于单口视觉多种平面尺寸的规则工件测量系统[J]. 机械设计与制造,2020,11(11):241-249.
- [15] 邓斌攸,潘云峰,池志强,等. 基于机器视觉的家具板件尺寸在线测量系统[J]. 木材科学与技术,2021,3(35):63-67.
- [16] 周俊杰,余建波. 基于机器视觉的加工刀具磨损量在线测量[J]. 上海交通大学学报,2021,55(6):741-749.

作者简介

李晋鑫,硕士研究生,主要研究方向为机器视觉。

E-mail:lijxin163@163.com

沙玲(通信作者),副教授,主要研究方向为机械 CAD/CAM 技术及应用、机器视觉。

E-mail:01050305@sues.edu.cn