基于机器视觉的圆筒形零件直角梯形槽槽宽检测研究

李红钢，杜文华，曾志强，肖　雄，郝金超
（中北大学，太原 030051）

摘要：针对圆筒形零件直角梯形槽槽宽的工业检测速度和精度要求，采用工业相机、镜头、计算机及专业图像处理软件等，构建了一套机器视觉系统，并依据图像处理算法设计了一个针对圆筒形零件上直角梯形槽槽宽检测的方法。对比实验表明，该系统的检测精度能够达到微米级要求，明显优于人工采用专用槽宽测量工具的测量精度，且测量结果不受主观因素的影响，效率较高。

关键词：机器视觉；槽宽检测；边缘检测；尺寸测量
中图分类号：TB487；TB486　**文献标识码**：A　**文章编号**：1001-3563(2013)03-0083-05

Research on Groove Width Detection of Right-angle Trapezoidal Groove of Cylindrical Parts Based on Machine Vision

LI Hong-gang, *DU Wen-hua*, *ZENG Zhi-qiang*, *XIAO Xiong*, *HAO Jin-chao*
(North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: A machine vision system was constructed using industrial cameras, lenses, computers, and specialized image processing software according to industrial inspection speed and accuracy requirements of groove width detection of right-angle trapezoid groove of cylindrical part. Groove width detection method of right-angle trapezoidal groove of cylindrical parts was design based on image processing algorithms. Comparative experiments showed that the detection accuracy of the system in groove width of cylindrical part can achieve micron order, which is better than manual measurement using a dedicated groove width measurement tools; the measurement results are not influenced by subjective factors; the efficiency is very high.

Key words: machine vision; groove width detection; edge detection; size measurement

工业生产中经常需要对圆筒形零件直角梯形槽的槽宽进行在线检测，目前的检测方法有手动接触式测量和自动接触式测量 2 种。其中手动接触式测量的典型实例为专用槽宽卡板测量，该种方法在测量时耗费时间长，测量精度不够，且测量时由于卡板和零件接触，对零件表面造成大小不同程度的损伤。自动接触式测量也存在着类似的问题。

非接触式测量技术消除了接触式测量对零件造成的表面损伤的问题[1]，是一种较好的测量方法。目前国内外通行的非接触式测量方法有光栅测量法、激光三角测量法以及机器视觉测量法等。

计算机软硬件的发展和数字图像处理理论的不断完善，使得机器视觉测量的方法变得可行[2]，机器视觉系统的特点是自动、客观、非接触、精度高，提高了生产的柔性和自动化程度，广泛用于工况监视、成品检验、质量控制、产品包装等领域[3]，尤其在包装领域更为突出，它能通过计算机自动识别包装产品，从而进行测量、检查和辨识，其自动化、客观、非接触和高精度的特点极适于大批量生产。笔者尝试将机器视觉技术应用于圆筒形零件直角梯形槽的槽宽的检测中，以实现零件的快速生产和自动检测。

1　系统搭建及槽宽图像的采集处理

要实现对圆筒形零件直角梯形槽槽宽的精确检测，其基本要求是获取高质量的图像，槽的精确定位，槽的轮廓提取和槽宽的精确检测。采用专业机器视觉软件进行图像分析处理，其基本步骤：获取图像→

收稿日期：2012-11-29
作者简介：李红钢(1987-)，男，河北邯郸人，中北大学硕士生，主攻机械故障与诊断分析、机器视觉。

图像处理→显示结果→分类器。

1.1 检测系统构建

检测系统需要对生产线上传送带上零件的直角梯形槽进行识别、图像采集、图像处理，对不符合标准的零件进行剔除。检测系统包括光源、图像采集单元、图像处理单元以及剔除单元等[4]。系统组成原理见图1。

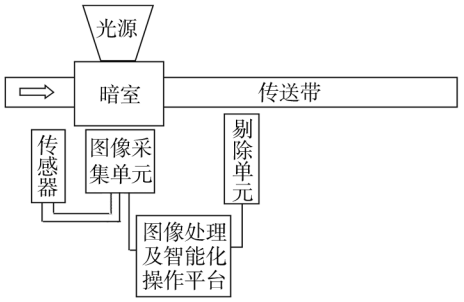


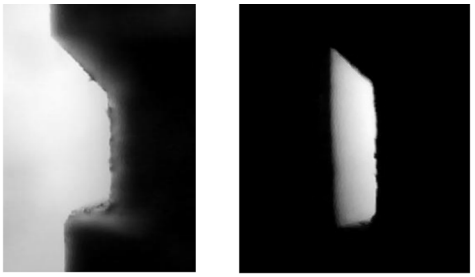
图1 检测系统原理

Fig. 1 Sketch map of the detection system

图像采集采用 CCD 数字相机(分辨率为 1000(H)像素×1000(V)像素，拍摄速度为 48 帧/s)完成生产线上槽宽图像的获取。根据圆筒形零件直角梯形槽槽宽的成像要求，光源采用 200×200 的 LED 平板光源(亮度可调，开、关可控)。图像的获取采用触发抓拍的方式，检测元件是个反射型的触发器，当有零件经过时，触发器输出一个脉冲信号来控制相机抓拍图像。图像采集单元获取图像后，通过相机 USB 接口传输给高性能 PC 的机器视觉软件进行图像处理运算并输出结果。

1.2 图像获取

在专业机器视觉软件中调用 open_framegrabber 算子访问图像采集设备，调用 grab_image 进行图像采集，筒形零件槽见图 2a，实际测量时采集的图像见图 2b。



a 筒形零件槽的图形 b 筒形零件槽实测图形

图2 圆筒形零件直角梯形槽

Fig. 2 Right angle trapezoidal groove of cylindrical parts

1.3 图像预处理

采集到的图像要经过一定的预处理，目的是使区域特征更加明显[5]，便于后续亚像素边缘提取、匹配矩形及槽宽计算等操作。预处理包括滤波处理，灰度值调整等。

成像系统获取的初始图像带有各种噪声，需要对图像经行滤波处理消除噪声。中值滤波是抑制噪声的非线性处理方法，简单，方便，能较好地保护目标区域[6]。在专业机器视觉软件中，调用 mean_image 算子，对读取的图像进行滤波处理，见图 3。由于该系统采用漫反射、明视场的环境采集图像，被测区域为亮，周围区域为暗，对比度高，所以灰度值不用过多的调整。

图3 中值滤波处理后得到的图像

Fig. 3 Image after median filtering process

1.4 图像处理

为了得到图像中的物体信息，必须进行图像分割，即提取图像中与感兴趣物体相对应的那些区域[7]。也就是说，分割操作以一幅图像作为输入而返回一个或多个区域或亚像素轮廓作为输出。在系统采集的图像中，对直角梯形槽的槽宽检测，需要对直角梯形槽进行提取分割。由于原始图像拍摄条件良好，背景和目标区域的灰度值差别比较明显，选择采用灰度阈值分割的方法，提取结果见图 4。

在图 4 中可以看到，fast_threshold 算子处理结果中还有一些干扰因素，需要调用 connection 算子，将他们转换成分离的物体，处理后这些干扰项不再是一部分，而是独立分开的部分，再调用 select_sharp 算子，经过处理后可以得到目标区域，见图 5。

前面已经成功地从图像中提取了目标区域，下面要从目标区域中进行特征提取，以便后续的矩形匹配操作。调用 edges_sub_pix 算子，通过 canny 滤波器可对工件目标区域进行亚像素边缘提取，直接返回由像素点组成的边缘，具有亚像素精度[8-9]，见图 6。再通

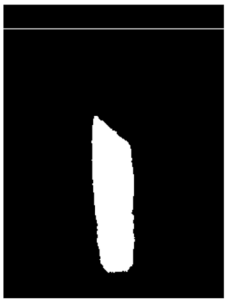


图 4　阈值分割后的图像

Fig. 4 Image after threshold segmentation

图 5　select_sharp 算子处理后的图像

Fig. 5 Image after select_sharp operator process

过算子 segment_contours_xld 将轮廓进行分割，该算子将分割后的轮廓设置其全局轮廓属性，属性为 1 的轮廓近似为圆弧，属性为 0 的近似为椭圆弧，属性为-1 的轮廓近似为线段，为了得到圆弧段和线段，设置算子参数为 lines_circles，结果见图 6。

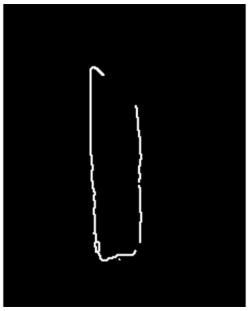
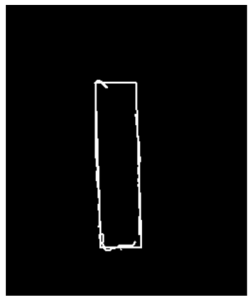
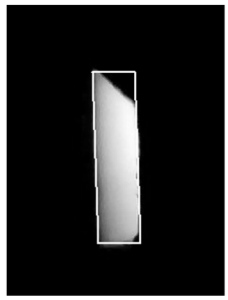


图 6　提取亚像素边缘

Fig. 6 Extracted sub-pixel edge

矩形匹配就是在亚像素边缘精度上匹配一个矩形轮廓[10]，且矩形的每条边都是亚像素边缘的最佳拟合。矩形匹配有 2 种方式，一种是任意方向匹配矩形，一种是平行于 x 轴、y 轴的方向匹配矩形。在该系统中选择在任意方向上匹配矩形，调用 fit_rectangle2_contour_xld 算子，在亚像素边缘轮廓基础上计算生成的矩形轮廓，再调用 gen_rectangle2_contour_xld 算子，得到矩形匹配的效果见图 7a，匹配数据见表 1，数据均为像素值。把匹配的矩形放到原来的图像中，可以形象地看出处理后的结果，见图 7b。





a　矩形匹配后的图像　　b　矩形匹配在原图像的结果显示

图 7　矩形匹配的结果

Fig. 7 Image after rectangular matching

表 1　匹配矩形的基本信息

Tab. 1 Basic information of rectangular matching

行	列	角度	长 L_1	宽 L_2
163.472	181.36	-1.535	87.122	21.541

2　直角梯形槽槽宽计算方法实现

2.1　槽宽计算方法

直角梯形槽的槽宽只能通过计算才能得出，由图 8 和表 1 可以得到：

$$a = 2 \times L_2 \tag{1}$$

$$b = 2 \times L_1 \tag{2}$$

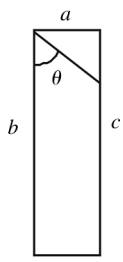


图 8　矩形匹配后示意

Fig. 8 Schematic diagram of image after rectangle matching

其中 L_2 是矩形宽的一半，L_1 为矩形长的一半，又知道 θ 角，则直角梯形槽的槽宽 c 计算的一般公式为：

$$c = b - a \cdot \cot\theta \tag{3}$$

由于系统和环境因素的影响，使得测量数据存在一定的误差。系统可经试验测量，得出误差值 k，为此可对测量的数据进行误差补偿，则直角梯形槽的槽宽

测量的精确公式：

$$c=b-a\cdot\cot\theta+k \quad (4)$$

2.2 算法程序编译

算法代码编译如下：

```
tuple_tan(90°-θ,Tan)
tuple_mult(Tan,Length*2,Prod)
tuple_sub(Length*2,Prod,Diff)
tuple_add(Diff,k,Sum)
```

2.3 槽宽计算结果的显示

在结果输出时，为了读取数据的方便，通过对像素的标定，输出的结果为实际零件直角梯形槽槽宽的尺寸。程序编码如下：

```
tuple_mult(Sum,0.016,Prod1)
disp_message (WindowHandle, ´槽宽:´+Prod1, ´window´, Row+30, Column+50, ´black´, ´true´)
```

运算结果见图9。

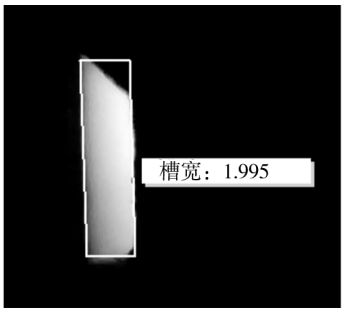


图9 运算结果显示

Fig. 9 Display of the operation results

3 检测系统测量实验及结果对比

为验证该系统的测量精度和稳定性，采用底孔测量系统进行非接触式测量，先对标准工件进行尺寸标定，已知所测量工件直角梯形槽槽宽标准值为2 mm，选用100万像素的高分辨率工业级数字CCD摄像机，安装放置固定好后进行尺寸标定，标定后一个像素尺寸为0.016 mm。采用专用槽宽卡板接触式测量，测量出槽宽，进行测量结果对比。并完成以下2个实验内容。

3.1 重复性对比试验

对同一零件进行多次重复测量实验，分别用接触式测量（专用槽宽卡板测量）和非接触时测量（即该系统的测量方法），对比测量结果，测量数据见表2。系统测得槽宽为实际值，像素值在程序编码时，通过标定转化为实际尺寸。

3.2 对多个零件的测量对比试验

针对15个零件分别进行测量，一组采用机器视觉的方法进行非接触式测量，一组采用专用槽宽测量设备进行接触式测量，测量结果见表3。系统测得的槽宽为实际值，像素值在程序编码时，通过标定转化为实际尺寸。

测量对比试验结论分析如下。

1）测量精度的评判。由表2和表3中数据可知，接触式测量的精度可以达到0.01 mm，专用槽宽卡板测量的数据最后一位为估测值，非接触式测量的精度可以达到0.001 mm，非接触式测量的精度都高于接触式测量的精度。

2）重复性测量精度对比。对同一零件测量时，接触式测量测得的最大值为2.008 mm，最小值为1.995 mm，重复性测量误差为0.013 mm，非接触式测量测得的最大值为2.004 mm，最小值为1.993 mm，重复性测量误差为0.011 mm，非接触式测量优于接触式测量。接触式测量为专用槽宽卡板测量，人为操

表2 2种测量方法对同一个零件的测量结果

Tab. 2 Measurement results of three kinds of measurement method for the same part mm

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
接触式	1.998	1.995	2.001	2.004	1.996	2.001	1.999	2.008	2.004	2.001	1.998	2.005	1.997	2.006	1.996
非接触式	1.995	1.993	2.003	2.002	1.996	2.003	1.998	2.001	2.003	1.993	2.002	1.993	2.004	1.999	1.996

表3 2种测量方法对不同零件的测量结果

Tab. 3 Measurement results of two kinds of measurement method for different parts mm

测量零件号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
接触式	1.987	1.989	2.003	2.011	1.998	2.005	1.999	2.007	2.014	2.001	1.998	2.015	1.997	2.006	1.986
非接触式	1.989	1.988	2.006	2.012	1.996	2.006	1.997	2.004	2.013	2.004	1.997	2.013	1.999	2.003	1.988

作,由于抖动、多次测量对零件的损坏和估测等因素,会产生较大的误差;非接触式测量的图像成像质量是影响测量结果的关键因素。影响图像成像质量的因素有传送带的速度波动、机械结构的震动、环境因素(光照和温度等)等。经试验证明测量结果有一定的误差,但总体比较稳定,且优于接触式测量。

3)测量所花时间的对比。接触式测量(专用槽宽卡板)所用时间为 5 min,非接触式测量所用时间 5 s,非接触式测量所用时间明显比接触式测量短。接触式测量为人为操作,且测量结果最后一位需估测,耗费的时间长;非接触式测量当系统硬件设备搭建好,软件系统和程序没有问题时,可以做到秒级的测量速度,且非接触式测量的时间可以设定,能够满足后续单元的实时性要求。

由此可见,基于机器视觉的测量系统具有很高的测量精度,很高的重复性测量精度,非常短的测量时间,测量数据有一定的可靠性和准确性,且对同类型工件测量具备通用性。

4　结论

直角梯形槽在很多圆筒形零件中存在,工业生产中直角梯形槽槽宽的测量大多还是手动测量,存在着速度慢,精度不够以及人为主观因素等弊端。通过上述的研究,提出了利用机器视觉技术对圆筒形零件直角梯形槽槽宽进行检测,该方案确实可以为圆筒形零件直角梯形槽的槽宽测量提供自动化帮助。该方案适用于大批量成产,具有速度快,精度高等特点。

参考文献:

[1] 陈志国,须文波. 机器视觉智能机器人无损检测系统[J]. 计算机工程与应用,2009,45(14):12-14.
CHEN Zhi-guo. XU Wen-bo. Nondestructive Flaw Detection System of Intelligent Robot with Machine Vision[J]. Computer Engineering and Applications,2009,45(14):12-14.

[2] 孙怀远,廖跃华,周夫之,等. 基于 HALCON 的药品包装瓶批号检测技术研究[J]. 包装工程,2008,29(8):71-73.
SUN Huai-yuan,LIAO Yue-hua,ZHOU Fu-zhi,et al. Study on the Batch Detection Technology of Pharmaceutical Bottles Based on HALCON[J]. Packaging Engineering,2008,29(8):71-73.

[3] 张广军. 机器视觉[M]. 北京:科学出版社,2005:299-301.
ZHANG Guang-jun. Machine Vision[M]. Beijing:Science Press,2005:299-301.

[4] 杨福刚,孙同景,宋松林. 基于机器视觉的全自动灯检机关键技术研究[J]. 仪器仪表学报,2008,29(3):562-566.
YANG Fu-gang,SUN Tong-jing,SONG Song-lin. Research on Key Technology of Automatic Pharmaceutical Container Inspection Machine Based on Machine Vision[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2008,29(3):562-566.

[5] 周春霞,魏敏,唐正宁. 基于数学形态学的印刷网点图像分割方法[J]. 包装工程,2007,28(6):14-15.
ZHOU Chun-xia,WEI Min,TANG Zheng-ning. Printing Dot Image Segmentation Method Based on the Mathematical Morphologic[J]. Packaging Engineering,2007,28(6):14-15.

[6] 斯蒂格,尤里奇,威德曼. 机器视觉算法与应用[M]. 杨少荣,等译. 北京:清华大学出版社,2008:218-245.
STEGER C,ULRICH M,WIEDEMANN C. Machine Vision Algorithms and Applications[M]. YANG Shao-rong,Translation. Bingjing:Tsinghua University Press,2008:218-245.

[7] ZENG Zhi-qiang,HUANG Ping-ping. Palmprint Recognition Using Gabor Feature-based Two-directional two-dimensional Linear Discriminant Analysis[C]//Proceedings of 2011 International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology,EMEIT 2011. New Jersey Piscataway:IEEE Computer Society,2011:1917-1921.

[8] CANNY J. A Computational Approach to Edge Detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1986,8(6):679-698.

[9] DEMIGN D,LORCA F G,KESSAL L. Evaluation of Edge Detectors Performances with a Discrete Expression of Canny´s Criteria[C]//In:Proceedings of International Conference on Image Processing. Los Alamitos,CA,USA:IEEE,Computer SOC Press,19951:169-172.

[10] SUN Chang-ning. Rectangular Subregioning and 3-D Maximum—Surface Techniques for Fast Stereo Matching[C]. In:IEEE Workshop on Stereo and Multi-Baseline Vision(in conjunction with CVPR'01),2001:44-53.