

基于激光三维点云的机械工件识别方法

薛 珊¹, 吕南方^{2*}, 沈雨鹰¹, 刘正彬¹, 郭建波¹

(1. 长春理工大学 机电工程学院, 吉林 长春 130022; 2. 首都师范大学 物理系, 北京 100083)

摘要: 随着中国制造 2025 的到来, 运用工业机器人在线加工机械工件是大势所趋。为了能够智能抓取工件, 工业机器人需要识别工件的类型以及工件的位姿。针对流水线上识别工件类型难的问题, 提出了一种基于激光扫描三维点云的工件类型识别方法, 该方法主要能够识别工件是哪种工件。首先对流水线上杂乱无序的工件进行激光扫描, 得到工件的三维激光点云数据, 将三维激光点云数据初步去噪。运用 MATLAB 软件对得到的三维激光点云进行中心切片, 得到点云的主视切片、俯视切片、左视切片; 运用 HALCON 软件对点云切片去噪、增强、分割, 提取中心切片的边界信息并得到提取区域的特征参数, 进而识别工件的类型。最后运用自主研发设备进行实验, 分别以步距为 0.05 mrad、测距精度 0.2 mm、测角精度为 0.02 mrad 进行扫描, 实验结果表明, 识别准确性达 96.67%。该方法对同类问题有较大的借鉴意义。

关键词: 激光点云; 点云切片; 边界提取; 特征参数; 工件识别

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3788/IRLA201948.0442002

Identification method for machine workpiece based on laser 3D point cloud

Xue Shan¹, Lv Nanfang^{2*}, Shen Yuying¹, Liu Zhengbin¹, Guo Jianbo¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China; 2. Department of Physics, Capital Normal University, Beijing 100083, China)

Abstract: With the coming of 2025 in China, it is an irresistible trend to use industrial robots to process agricultural machinery online. In order to grasp workpiece intelligently, industrial robots need to identify the type of workpiece and pose of workpiece. In view of the difficulty in identifying the types of workpieces on the pipeline, an online recognition method based on the 3D point cloud of laser scanning was proposed. This method can identify which workpiece is the moving piece. First, the disordered workpiece on the assembly line was scanned, the 3D laser point cloud data of the workpiece was obtained, and the 3D laser point cloud data was initially denoised. Using MATLAB software to slice the 3D laser point cloud, the main view slicing, top view slicing, left view slicing was obtained. By using the HALCON software, the boundary information of the center slice was extracted, enhanced, segmented, and the characteristic parameters of the extracted area were extracted. Then the type of the workpiece was

收稿日期: 2018-11-09; 修订日期: 2018-12-11

基金项目: 吉林省科技发展计划项目(20160204015GX)

作者简介: 薛珊(1978-), 女, 副教授, 硕士生导师, 博士, 主要从事现代检测理论与技术方面的研究。Email: 1660348815@qq.com

通讯作者: 吕南方(1990-), 男, 博士生, 主要从事太赫兹成像技术及其应用方面的研究。Email: 105191462@qq.com

identified. Experimental results show that the accuracy of recognition is 96.67%. This method can be used for reference to similar problems.

Key words: laser point cloud; point cloud slicing; boundary extraction; characteristic parameters; workpiece recognition

0 引言

随着“中国制造 2025”的到来,大批机械工件在流水线上通过工业机器人的在线抓取、加工已成为大势所趋。在线抓取不同类型工件的识别过程主要包括两个:第一,工件类型的识别^[1];第二,工件位姿的识别^[2]。工件类型的识别是在线识别的第一个环节,也是后续工件位姿识别的基础,这一环节尤为重要。国内目前多是通过单双目视觉来解决,将单目视觉系统引入工业机器人,通过 CCD 摄像机获取工件的图像^[3],从而识别工件类型,利用双目视觉获取轮廓的深度信息,通过深度信息和几何信息的共同约束来识别。但上述方法过程复杂,并受到距离的影响,简化工件识别过程,提高识别速度是亟待解决的问题。

文中提出了一种新的机械工件类型的识别方法。运用激光扫描系统在流水线上远距离对工件进行扫描,得到工件的三维激光点云,然后进行工件的类型识别。首先进行三维激光点云的初步去噪,通过去噪后的点云在 MATLAB 中获取三维激光点云的中心切片,分别获得主视切片、俯视切片和左视切片,它们可以准确地表达出工件的外部形状特征。通过对扫描后三维激光点云中心切片的识别可以得到工件的类型。该识别方法简单,识别速度快,操纵要求低且识别准确度高。

机械工件主要由基本体组合而成。基本体主要包括棱锥、棱柱、圆柱、圆锥、球。文中对基本体工件进行了实验,包括对圆柱、圆锥、棱柱进行了实验,验证了方法的可行性和实用性。

1 基于激光点云的机械工件识别原理

所有的机械零件都是由基本体组合而成;如果能够识别基本体,后续就可以识别组合体。基本体的识别过程和方法对于组合体也是适用的。三视图是机械零件的有效表达方式,它可以完整、清晰、唯一

地表达一个机械零件。

运用激光扫描流水线上的机械工件,得到工件的三维点云。三维点云是立体的,相当于一个立体的物体。将扫描得到的三维点云进行中心切片,得到工件的主视切片点云、俯视切片点云和左视切片点云。对这些点云进行去噪、增强、分割、边界提取^[4],最终识别三个切片的形状,从而识别机械工件。

为了方便实验,对典型基本体(棱柱、圆锥、圆柱)的类型进行了识别;运用“三视图能快速、唯一地确定物体”的理论进行了基本体的识别。

基于激光点云的机械工件识别原理如图 1 所示。

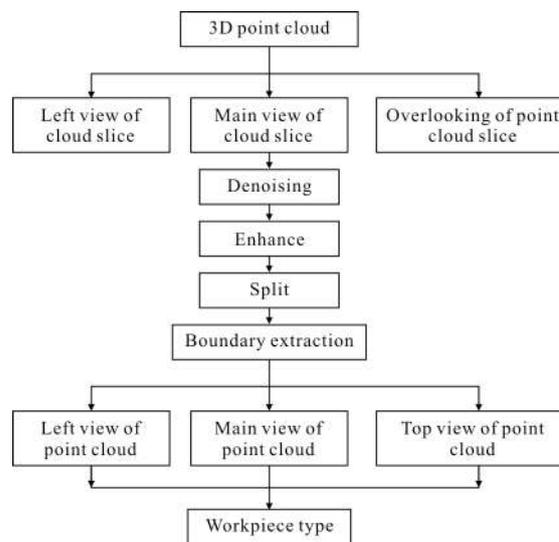


图 1 机械工件识别原理示意图

Fig.1 Schematic diagram of the principle of mechanical workpiece recognition

2 基于激光点云的机械工件识别

2.1 机械工件激光点云切片获取

基于现有的激光传感器测控技术,应用二维振镜高频扫描技术,采用高重频激光探针传感器,对生产线随机工件位姿进行快速测量扫描,系统方案如图 2 所示。

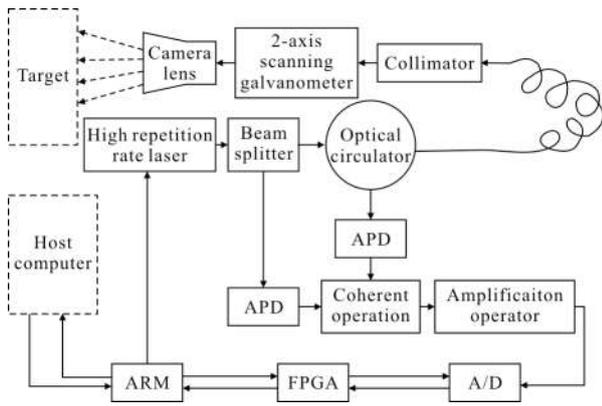
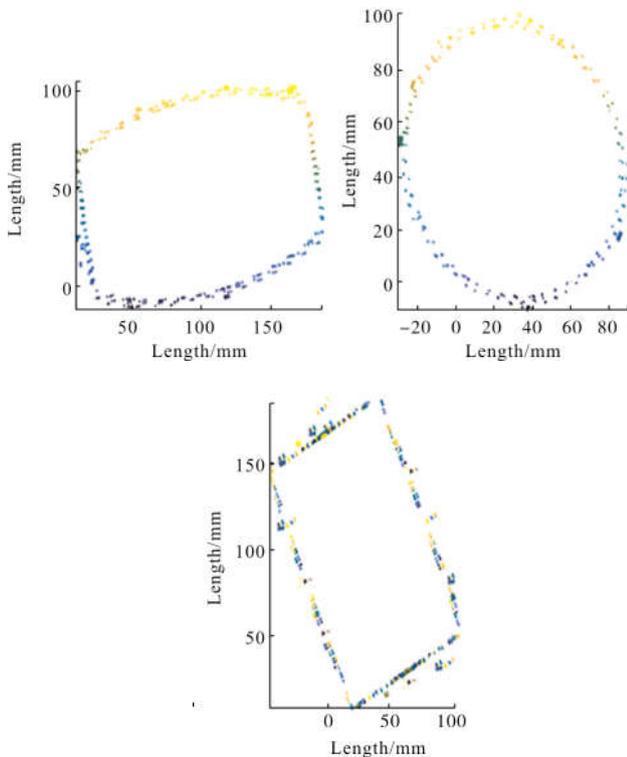


图 2 激光 3D 扫描系统结构图

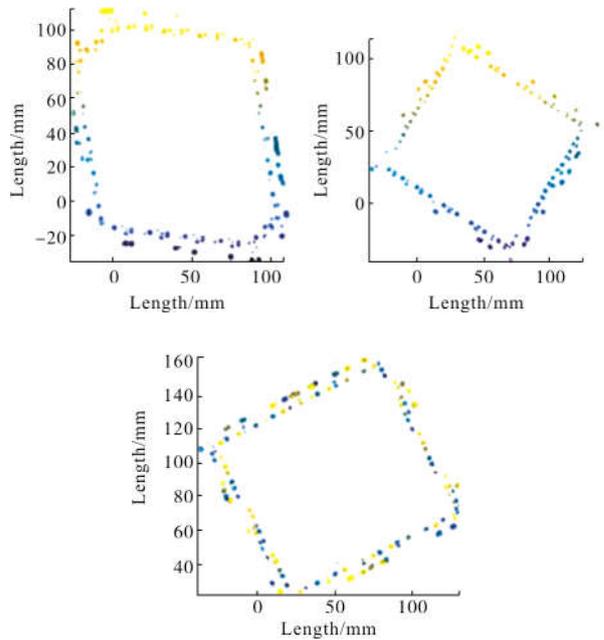
Fig.2 Structure diagram of laser 3D scanning system

识别的基本体工件的类型包括圆柱、圆锥和四棱柱,对得到的激光点云数据在 MATLAB 中进行点云的初步去噪,除去偏远杂点以减小三维点云数据误差^[5]。在初步去噪的三维点云数据中寻找各坐标轴方向上的极限点,极限点有最大和最小两个,通过对两极限点求算术平均值得到切片的具体位置。三个坐标轴方向即为主视图方向、俯视图方向、左视图方向。设定切片的厚度为 3 mm,得到的三个坐标切片图,即三视图切片图,如图 3 所示。



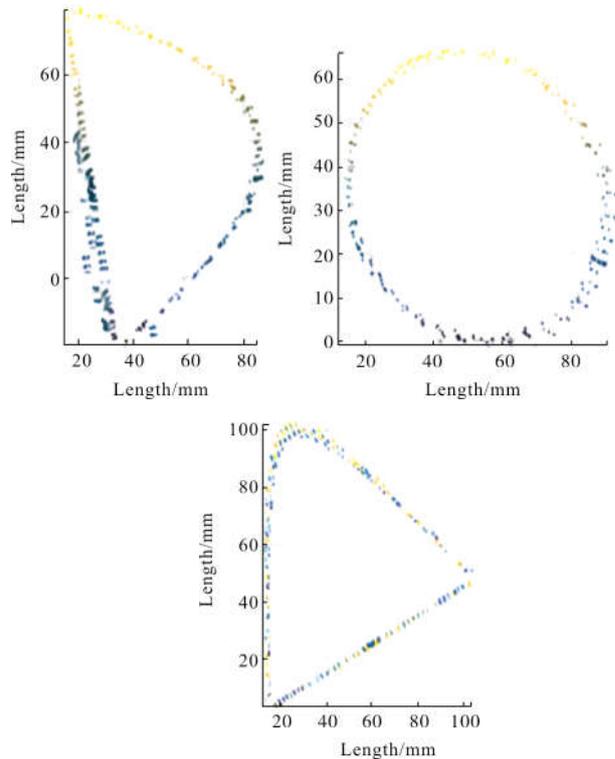
(a) 圆柱点云的三坐标切片图

(a) Three-coordinate slice of cylindrical point clouds



(b) 四棱柱点云的三坐标切片图

(b) Three-coordinate slice of point cloud with quadriprism



(c) 圆锥点云的三坐标切片图

(c) Three-coordinate slice of point cloud of cone

图 3 点云的三坐标(三视图)切片图

Fig.3 Three coordinate (three view) section of the point cloud

由于是三维激光点云初步去噪,去噪后的轮廓边缘仍会存在杂点,得到的点云切片存在一定的形

状误差,但只是大小的变化,通过后续对点云切片的处理,仍能准确识别出工件的类型,对判断工件的类型无影响。

2.2 机械工件激光点云切片去噪

在切片获取的过程中,由于三维激光点云的获取设备、所处的环境、中心切片的算法等会造成干扰^[6],产生噪声。噪声会对工件边缘的提取造成很大的影响,可能会形成假边缘^[7],对工件的类型识别造成影响。因此,对所获得的灰度切片进行滤波去噪。

消除切片中的噪声有中值滤波、均值滤波、高斯滤波等方法,在获取三维激光点云时,设备产生的噪声的方差可视为均值,故可以采用递归滤波器进行切片的平滑处理,在 HALCON 软件中调用 smooth_image 算子,可选择递归滤波器并设定过滤参数,达到去除噪声、平滑点云切片的目的。

以圆柱的一个视图点云切片为例进行去噪。运用递归滤波器进行平滑处理,选择的过滤参数为 4,滤波处理后的结果如图 4 所示。图中可以看出,切片的质量明显改观,达到去除噪声、平滑点云切片的目的。



(a) 点云切片滤波前图像

(a) Image before point cloud slice filtering



(b) 点云切片滤波后图像

(b) Image after point cloud slice filtering

图 4 点云切片滤波前后对比图

Fig.4 Contrast figure of point cloud slicing before and after filtering

2.3 机械工件激光点云切片增强

切片增强是指按照某种特定的需求,突出其中有用的信息,去除或者削弱无用的信息。去噪后的灰度切片通过点云切片增强后,切片边缘的轮廓区分更明显,识别出的边缘轮廓更准确,识别工件的类型更容易^[8]。

切片增强算子强调切片的高频区域(边缘和角),由此产生的切片看起来更清晰。首先,通过低通滤波器进行均值滤波,所得到的灰度值与均值滤波后的灰度值和初始灰度值有关。运算公式为:

$$res = \text{round}((orig - mean) \times F) + orig \quad (1)$$

式中: res 为切片增强后的灰度值; $orig$ 为切片原始厚的灰度值; $mean$ 为均值滤波后的灰度值; F 为切片增强的系数; round 为对所得值取整。

增强点云切片的对比度,达到了更易于提取点云切片边界的目的。

以圆柱的一个视图点云切片为例进行增强。运用切片灰度的增强算子 emphasize, 设定增强系数 F 为 0.3, 得到增强后的图像如图 5 所示,切片增强效果好,增强了切片的对比度。



(a) 点云切片增强前图像

(a) Image before enhancement of point cloud slices



(b) 点云切片增强后图像

(b) Image after enhancement of point cloud slices

图 5 点云切片增强前后对比图

Fig.5 Contrast figure of point cloud slicing before and after emphasizing

2.4 机械工件激光点云切片分割

点云切片分割的目的是简化或改变切片的表示形式,使得切片更容易分析。对切片进行二值化处理是点云切片分割的一种有效手段,二值化处理是利用切片中目标区域与其背景在灰度特性上的差异而实现点云切片分割的一种有效的方法^[9]。

在得到增强的点云切片后设定一个灰度的阈值,根据大于或小于给定的阈值选出目标区域和背景区域,达到进一步减少目标区域、将目标区域大致轮廓提取出来的目的。

点云切片分割的阈值公式如下表示:

$$res = \begin{cases} 1 & orig < T \\ 0 & orig > T \end{cases} \quad (2)$$

式中: T 为阈值。

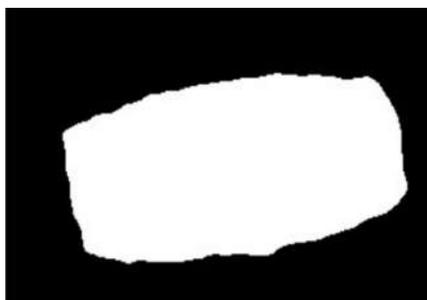
通过划分阈值,得到更加清晰的点云切片。

以四棱柱的一个视图点云切片为例进行分割。通过灰度直方图对切片在给定阈值[240, 250]下进行筛选,所得切片如图 6 所示,点云切片分割效果好,点云切片变得更加清晰。



(a) 点云切片分割前图像

(a) Image before segmentation of point cloud slices



(b) 点云切片分割后图像

(b) Image after segmentation of point cloud slices

图 6 点云切片分割前后对比图

Fig.6 Contrast figure of point cloud slicing before and after the split

2.5 机械工件激光点云切片边界提取

因为基本体工件的中心切片形状较为简单且不需要提取细节边缘,另外切片已经过去噪处理,所以用一阶边缘检测算子来提取边界即可。一阶微分边缘检测算子利用点云切片在边缘处的阶跃性即切片梯度在边缘取得局部最大值的特性进行检测^[8]。

选用 Sobel 算子对切片的边界进行提取,这是当精度要求不是很高时较为常用的边缘检测方法^[9]。该算子是由两个卷积和与原点云切片进行卷积运算得到的,其中两个方向的算子模板如下所示:

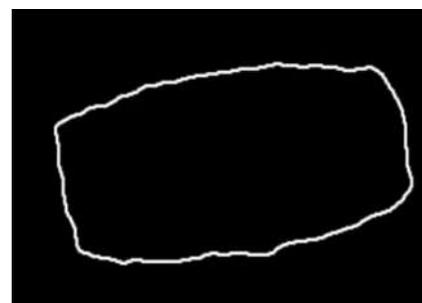
$$G_x = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix}, G_y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

以四棱柱的一个视图点云切片为例,在 HALCON 软件中调用 sobel_amp 算子提取边缘,结果如图 7 所示,该算子提取效果好,准确地提取了点云切片的截面信息。



(a) 切片边界提取前图像

(a) Image before slice boundary extraction



(b) 切片边界提取后图像

(b) Image after slice boundary extraction

图 7 点云切片边界提取图

Fig.7 Point cloud slice boundary extraction figure

在提取出切片的边缘后,运用 fill_up 算子对切

片边缘进行区域填充,填充后的切片如图 8 所示。



(a) 四棱柱最终切片处理图

(a) Final processing diagram of quadriprism slices



(b) 圆柱最终切片处理图

(b) Final processing diagram of cylindrical slices



(c) 圆锥最终切片处理图

(c) Final processing diagram of conical slices

图 8 工件点云切片处理图

Fig.8 Processing figure of workpiece point cloud section

2.6 机械工件类型的识别

由于三种类型工件的点云切片的形状是不相同的,圆柱的三个切片是一个椭圆和两个矩形,圆锥的三个切片是一个椭圆和两个类三角形,四棱柱的切片为矩形或菱形,可以通过识别出切片的形状从而识别出工件的类型。

切片的形状识别可以根据切片的圆度大小来判别,不同类型的工件三个切片的形状是不同的,所以它们圆度参数的大小是不同的,通过圆度的比较,从而识别工件的类型。圆度 C 的数学公式如公式(4)所示:

$$C = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (4)$$

为了使识别的过程更加清晰,将该过程用程序框图来表示,如图 9 所示。

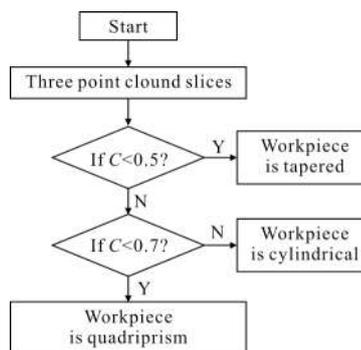


图 9 工件识别程序框图

Fig.9 Program flowchart of workpiece identification

3 实验

3.1 激光扫描获得点云

实验选用的圆柱、圆锥的圆直径为 80 mm,高度为 80 mm,选用的四棱柱尺寸为 80 mm×80 mm×80 mm。

运用自主研发的测距机等实验设备进行实验,分别以步距为 0.05 mrad、测距精度 0.2 mm、测角精度为 0.02 mrad 进行扫描。实验设备中有德国 ASTECH 公司的激光距离传感器 LD30; 功率为 100 mW、波长为 650 nm 的红色指示激光,用于指示视轴;世纪索尼双振镜系统等。

通过激光变速扫描得到圆柱、圆锥和四棱柱的三维激光点云数据,实验扫描图如图 10 所示。



(a) 圆柱激光变速扫描图

(a) Picture of a cylinder by laser variable speed scanning



(b) 四棱柱激光变速扫描图

(b) Picture of a quadriprism by laser variable speed scanning



(c) 圆锥激光变速扫描图

(c) Picture of a cone by laser variable speed scanning

图 10 工件激光变速扫描实验图

Fig.10 Experiment figure of workpiece laser variable speed scanning

3.2 工件的识别实验

将得到的三维激光点云数据通过 MATLAB 进行点云切片,运用 HALCON 软件进行三维点云切片的边界提取;通过对填充后工件的三个点云切片运用 circularity 算子分析它们的圆度参数,从而识别得到工件的类型。逐次将工件转动 5°,分别对圆柱、圆锥、四棱柱进行扫描、中心切片、切片识别,分别进行 20 组实验,实验结果如表 1 所示。

根据实验结果分析,该识别方法的准确率为 96.67%,满足工业流水线生产的要求。

表 1 各截面圆度分析

Tab.1 Analysis of the roundness of each section

Workpiece type	Section	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Quadrangular prism	x	0.661	0.663	0.655	0.698	0.703	0.682	0.678	0.685	0.678	0.656
	y	0.682	0.684	0.691	0.676	0.623	0.665	0.643	0.679	0.689	0.681
	z	0.630	0.628	0.634	0.620	0.640	0.634	0.645	0.632	0.626	0.632
Cylinder	x	0.641	0.649	0.650	0.653	0.657	0.702	0.632	0.659	0.670	0.672
	y	0.787	0.784	0.779	0.775	0.782	0.785	0.773	0.734	0.728	0.751
	z	0.620	0.631	0.634	0.637	0.642	0.644	0.646	0.647	0.652	0.657
Cone	x	0.484	0.486	0.489	0.485	0.486	0.483	0.492	0.481	0.488	0.491
	y	0.806	0.795	0.810	0.785	0.816	0.805	0.799	0.795	0.785	0.803
	z	0.479	0.483	0.480	0.481	0.485	0.492	0.482	0.483	0.490	0.487
Workpiece type	Section	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Quadrangular prism	x	0.662	0.671	0.672	0.669	0.663	0.668	0.664	0.681	0.672	0.664
	y	0.685	0.697	0.692	0.693	0.689	0.682	0.681	0.684	0.685	0.691
	z	0.620	0.623	0.624	0.622	0.632	0.634	0.633	0.635	0.637	0.638
Cylinder	x	0.649	0.642	0.643	0.645	0.639	0.642	0.641	0.648	0.647	0.647
	y	0.786	0.782	0.779	0.783	0.781	0.783	0.785	0.786	0.786	0.790
	z	0.631	0.629	0.632	0.633	0.629	0.621	0.620	0.620	0.632	0.633
Cone	x	0.485	0.487	0.488	0.500	0.492	0.491	0.491	0.486	0.492	0.491
	y	0.796	0.795	0.793	0.795	0.798	0.795	0.789	0.795	0.802	0.789
	z	0.492	0.491	0.495	0.501	0.491	0.489	0.481	0.472	0.498	0.496

4 结论

针对工业机器人智能抓取工件时在线识别工件类型难的问题,提出了一种基于三维激光点云的机械工件识别方法。运用激光变速扫描得到三维点云数

据,通过运用 MATLAB 软件将工件的三维点云进行切片,得到三视图切片,运用 HALCON 软件对切片点云进行去噪、增强、分割、边界提取,进而根据圆度参数进行识别。进行 20 组仿真实验分析,实验结果表明,该方法识别工件类型的准确度为 96.67%。

参考文献:

- [1] He Xiaohui, Yan Ping, Liu Fei, et al. On-line workpiece recognition based on support vector machine and power information[J]. *China Mechanical Engineering*, 2011, 22(7): 818-824. (in Chinese)
贺晓辉, 鄢萍, 刘飞, 等. 基于支持向量机和功率信息的工件在线识别方法[J]. 中国机械工程, 2011, 22(7): 818-824.
- [2] Zhu Tongshuai, Xu Weirong, Mo Jinqiu. Top-level workpiece location method based on monocular stereo vision [J]. *Machine Design & Research*, 2017, 33 (4): 41-44. (in Chinese)
朱统帅, 徐维荣, 莫锦秋. 基于单目立体视觉的顶层工件定位方法[J]. 机械设计与研究, 2017, 33(4): 41-44.
- [3] Yang Qinghua, Chen Liang, Xun Yi, et al. Automatic detection method of bare PCB plate defects based on machine vision[J]. *China Mechanical Engineering*, 2012, 23 (22): 2661-2666. (in Chinese)
杨庆华, 陈亮, 荀一, 等. 基于机器视觉的 PCB 裸板缺陷自动检测方法 [J]. 中国机械工程, 2012, 23 (22): 2661-2666.
- [4] Gong Yanchao, Wan Shuai, Yang Kaifang, et al. Real-time three-dimensional naked hand gesture recognition using binocular vision video [J]. *Journal of Xidian University*, 2014, 41(4): 130-136. (in Chinese)
公衍超, 万帅, 杨楷芳, 等. 利用双目视觉视频的实时三维裸手手势识别 [J]. 西安电子科技大学学报 (自然科学版), 2014, 41(4): 130-136.
- [5] Cui Xin, Yan Xiutian, Li Shipeng. Denoising of scattered point cloud data keeping features [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2017, 25(12): 3169-3178. (in Chinese)
崔鑫, 闫秀天, 李世鹏. 保持特征的散乱点云数据去噪[J]. 光学 精密工程, 2017, 25(12): 3169-3178.
- [6] Dong Yude, Zhang Rongtuan, Song Zhonghui, et al. Research on tread pattern boundary feature extraction and reconstruction[J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2018, 54(3): 137-147. (in Chinese)
董玉德, 张荣团, 宋忠辉, 等. 胎面花纹边界特征提取及重构方法研究[J]. 机械工程学报, 2018, 54(3): 137-147.
- [7] Zhu Xianfeng, Pan Hongjun. Defect detection and one-dimensional dimension measurement of selenium drum based on Halcon [J]. *Journal of Jilin University (Information Science Edition)*, 2014, 32(3): 308-310. (in Chinese)
朱先锋, 潘洪军. 基于 Halcon 的硒鼓缺陷检测与一维尺寸测量[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2014, 32(3): 308-310.
- [8] Jiao Yang, Li Xin. Research on quality enhancement method of multi-scale low-quality image in fog and haze weather [J]. *Bulletin of Science and Technology*, 2017, 33 (11): 133-136. (in Chinese)
焦阳, 李鑫. 雾霾天气下多尺度劣质图像质量增强方法研究[J]. 科技通报, 2017, 33(11): 133-136.
- [9] Zhao Fuqun, Zhou Mingquan, Geng Guohua. Image threshold segmentation and quantitative recognition based on GA-Otsu method [J]. *Journal of Jilin University (Engineering Edition)*, 2017, 47(3): 959-964. (in Chinese)
赵夫群, 周明全, 耿国华. 基于 GA-Otsu 法的图像阈值分割及定量识别 [J]. 吉林大学学报 (工学版), 2017, 47(3): 959-964.