

# 基于2D激光扫描的基准检测技术研究

李现坤<sup>1,2</sup>,曾德标<sup>1,2</sup>,孟华林<sup>1,2</sup>,谭红<sup>1,2</sup>

(1. 成都飞机工业(集团)有限责任公司,四川 成都 610092;

2. 四川省航空智能制造装备工程技术研究中心,四川 成都 610092)

**摘要:**在机器人自动制孔系统中,基准孔检测的准确性会直接影响整个机器人制孔过程的位置精度。为获取基准孔位准确信息,采用激光扫描的方式对基准孔进行检测。设计了2D线激光扫描在基准平面内点云的三维转化方法,通过分析基准孔在扫描仪坐标系下点云的分布特点,提出了一种基于坐标差值的基准孔边界提取算法。通过设定相邻点云在线激光扫描仪坐标系下 $z$ 轴的坐标差值获取边界点,实验验证该算法能有效地去除点云中的噪声点,获取准确的基准孔边缘特征信息,进而得到准确的基准孔孔位信息。

**关键词:**机器人;自动制孔;激光扫描;基准检测

中图分类号:TP29 文献标志码:B 文章编号:1671-5276(2020)01-0195-03

## Research on Benchmark Detection Technology Based on 2D Line Laser Scanning

LI Xiankun<sup>1,2</sup>, ZENG Debiao<sup>1,2</sup>, MENG Hualin<sup>1,2</sup>, TAN Hong<sup>1,2</sup>

(1. Chengdu Aircraft Industrial Group Co., Limited, Chengdu 610092, China; 2. Sichuan Aeronautical Intelligent Manufacturing Equipment Engineering Technology Research Center, Chengdu 610092, China)

**Abstract:** In the robotic automatic hole-making system, the reference hole detection accuracy directly affects the position accuracy of the whole robot drilling process. To obtain the accurate information of the reference hole position, this paper uses line laser scanning method to detect the reference hole and draws up a three-dimensional transformation method of 2D line laser scanning in the reference plane. Then, by analyzing the distribution characteristics of the point cloud of the reference hole in the scanner coordinate system, an algorithm for extracting the boundary of the reference hole based on coordinate difference is proposed. The boundary points are obtained by setting the coordinate difference of  $z$  axis in the coordinate system of the adjacent point cloud on-line laser scanner. Experimental results show that the algorithm can be used to effectively remove the noise points in the point cloud, obtain the accurate edge feature information of the reference hole, and then get the accurate position information of the reference hole.

**Keywords:** robot; automatic drilling; laser scanning; benchmark detection

## 0 引言

近年来,我国制造业正在向自动化、智能化方向发展。在航空制造领域,基于工业机器人的自动制孔技术凭借其高效率、高质量和高精度等显著优势,已成为飞机数字化柔性装配的重要发展趋势<sup>[1]</sup>。在机器人自动制孔过程中,为了得到准确的待加工孔位信息,常在机器人末端执行器上安装检测装置,在加工前对加工基准进行测量,得到加工基准的点位信息,反馈给机器人控制系统从而对待加工孔的位姿进行修正。加工基准检测是一个非常重要的环节,其检测的准确性会直接影响整个机器人制孔过程中的位置精度<sup>[2-3]</sup>。

目前常用的基准检测方式是采用工业相机,该方式测量精度较低,并且对加工现场环境要求较高,为了保证测量的可靠性,需要配置专门的光源。激光测量技术具有原理简单、测量速度快、测量精度高的优点<sup>[4]</sup>,能够更好地适应加工环境,提高检测的准确度。本文采用激光扫描的方式

对加工基准进行检测。首先设计了2D线激光测量点云的三维转换方法,然后提出了一种基于坐标差值的基准孔边界提取算法,通过引入两个边界条件,使该算法能有效地剔除点云中的噪声点,从而获得准确的加工基准信息。

## 1 测量点云的三维扩展

机器人控制系统读取加工基准信息时只能识别三维信息,而在机器人自动制孔系统中,为了方便标定刀尖点和检测装置的位置关系,检测装置多为二维检测,只能得到两个方向的坐标位置信息。本文采用的线激光扫描仪米铱2950-50(一种二维检测装置),如图1所示,其 $z$ 轴方向为激光出射方向,是线激光扫描仪内部原点到检测点的距离信息; $x$ 轴为光条方向,扫描仪内部自动在光条方向按设定分为若干等份(一般取 $x$ 方向上的两个间距为0.01 mm),以此确定 $x$ 坐标的值。为实现基准孔的三维测量,控制机器人带动扫描仪沿着与 $xz$ 平面垂直的方向等距离平移,并把该方向作为扫描仪坐标系的 $y$ 轴, $y$ 轴满足右手坐标系的规定方向。此时扫描仪坐标系是一个

动态坐标系,通过设定机器人沿  $y$  方向的平移量  $d$ ,将检测到的基准边缘特征信息进行标定,实现检测信息从二维到三维的扩展。

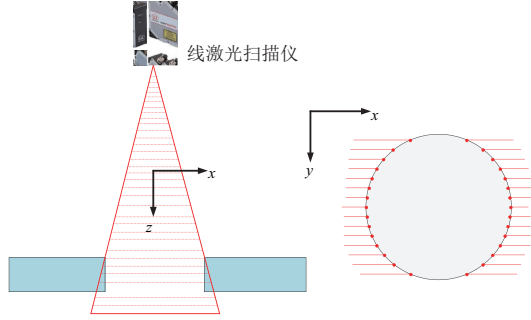


图1 二维线激光点云三维扩展示意图

线激光扫描仪的点云三维扩展分两步完成,先根据2D线激光扫描仪对基准孔进行测量,从而完成其在  $xz$  平面内的特征点提取,然后机器人带动扫描仪沿  $y$  方向平移,实现  $xy$  平面内的数据耦合<sup>[5-6]</sup>。选定机器人移动过程中扫描仪检测的某一瞬时位置,则扫描仪坐标系下基准孔点云的三维坐标转换方法如式(1):

$$\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \\ z'_i \end{bmatrix} = \mathbf{R} \begin{bmatrix} x_i \\ 0 \\ z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta x_i \\ \delta y_i \\ \delta z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ 0 \\ z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_i \cos \alpha \\ d_i \cos \beta \\ d_i \cos \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i + d_i \cos \alpha \\ d_i \cos \beta \\ z_i + d_i \cos \gamma \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中:  $(x'_i, y'_i, z'_i)$  为基准孔特征点云在线激光扫描仪坐标系下的三维坐标;  $(x_i, 0, z_i)$  为2D线激光扫描仪本身坐标系下的原始检测值;  $d$  为机器人每次沿  $y$  方向的平移量,  $d_i = i \cdot d$  为扫描仪第  $i$  行时机器人的总平移量;  $\alpha, \beta, \gamma$  为扫描仪坐标系的方向角; 由于线激光扫描仪的局部运动为平移运动,  $\mathbf{R}$  是一个  $3 \times 3$  的单位矩阵。

## 2 基准孔边缘特征提取

为了获得基准孔边缘点云坐标,需要分析基准孔边缘特征信息。针对每一条线激光扫描三维点云信息,在  $x$  轴方向上点云等距离分布,即  $x_{i,2} - x_{i,1} = \dots = x_{i,n} - x_{i,n-1} = \Delta x = 0.01 \text{ mm}$ ,其坐标值不会发生突变。 $y$  轴方向点云坐标相等,即  $y_{i,2} - y_{i,1} = \dots = y_{i,n} - y_{i,n-1} = \Delta y = 0$ ,坐标值亦不存在突变。只有在线激光扫描仪出射方向  $z$  轴上点云坐标值会在基准孔边缘位置发生突变。为此针对每一行线激光扫描点云,可以通过设置  $z$  轴方向上突变阈值提取出基准孔在该行上的边界点,计算公式为:

$$|\Delta Z_{i,j}| = Z_{i,j} - Z_{i,j-1} \quad (2)$$

其中:  $Z_{i,j}$  表示线激光扫描仪在第  $i$  行第  $j$  点的  $z$  坐标值,  $|\Delta Z_{i,j}|$  表示相邻2个点  $z$  轴方向的坐标差值。为了设定  $z$  轴方向的突变阈值,使用线激光扫描仪对基准孔进行扫描,对点云进行三维化处理以后,得出如图2所示三维点云。图3为基准孔点云的侧视图。

由图3可知在基准孔点云中存在大量的噪声点,这与被测材料本身材质属性有关,是在测量过程中线激光遇到

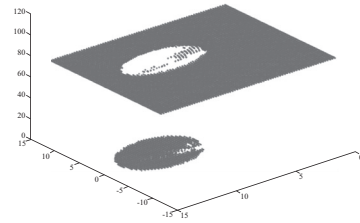


图2 基准孔点云三维显示

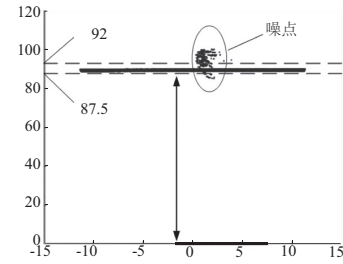


图3 基准孔点云侧视图

空气中的粉尘、杂质颗粒反光折射造成的。通过对这些三维点云侧视图进行分析可知,除了少量噪声点以外,线激光扫描仪测量点云边界点在  $z$  轴方向上突变点的绝对值均在 87.5 以上,92 以下,故设定判别边界点的第1个条件:

$$\Delta Th < |\Delta Z_{i,j}| = |Z_{i,j} - Z_{i,j-1}| < \Delta Mx \quad (3)$$

按照上述选定的边界条件1,提取上述三维测量点云在  $x-y$  坐标系下的点云分布图,如图4所示。

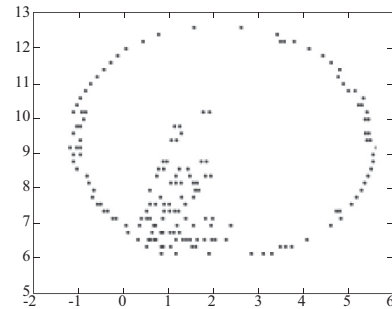


图4 条件1下基准孔边界提取分布图

由图4可以看出,通过边界提取条件1得出的基准孔边界点,在孔周围的噪声点并没有完全剔除。这是因为这些噪声点同样满足条件1。为了进一步去除这些噪声点,获取更为精确的基准孔边界点信息,引入边界提取的第2个条件。在扫描仪扫描点云中,任意选取一行基准孔三维点云,对其分布进行局部放大,如图5所示。

由图5发现,所有的噪声点分布相对孤立,并且点云之间在  $z$  轴方向上的差值大于平面上正常点云之间的差值,因此设定基准孔边界提取的第2个条件:

$$\sqrt{\frac{1}{n} (|\Delta Z_{ij-n}| + |\Delta Z_{ij-n+1}| + \dots + |\Delta Z_{ij-1}|)} < \text{SelectTh} \quad (4)$$

$$\sqrt{\frac{1}{n} (|\Delta Z_{ij+1}| + |\Delta Z_{ij+2}| + \dots + |\Delta Z_{ij+n}|)} < \text{SelectTh} \quad (5)$$

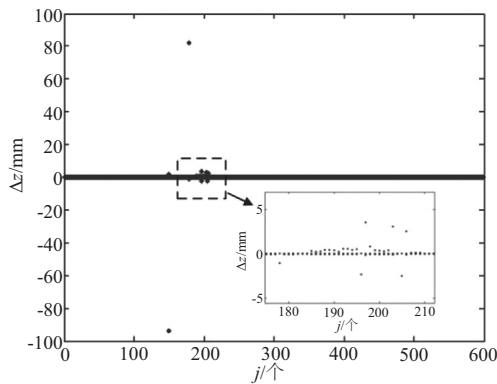


图5 基准孔三维噪点局部放大图

当边界提取条件1下的点云满足上述提取条件2时,才认定该点为基准孔边界点。经试验现场分析,SelectTh 的值取 0.1, n 的大小依据基准孔的孔径确定,一般取 20。加入边界提取条件 2,再次提取三维点云在 x-y 的坐标系下的点云分布图,如图 6 所示。

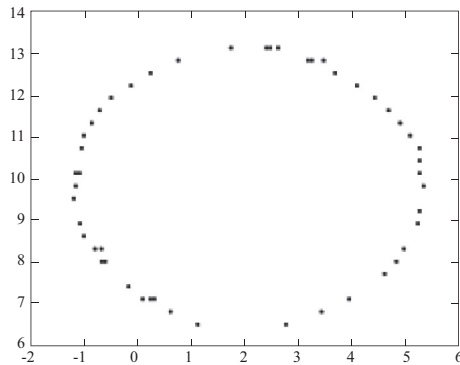


图6 加入条件2后基准孔边界提取分布图

对比图 6 和图 4 拟合结果可以看出,加入边界提取条件 2 以后能有效地剔除基准孔周围的噪声点,使得计算得到的基准孔边界点更加准确。

### 3 结语

本文提出一种基于线激光扫描的机器人自动制孔基准检测方法,在检测过程中通过使用机器人带动扫描仪沿着 y 轴方向等距离移动,对二维点云进行扩展。在得到基准孔的三维点云后,分析了基准孔点云分布特点,先通过边界提取条件 1 得到包含噪声点的基准孔边界点,为了去除边界点中的噪声点,引入了边界提取条件 2,限定边界点周围点云 z 轴方向差值。通过拟合结果可知,该算法能有效地去除掉基准孔周围的噪声点,使得计算得到的基准孔信息更加准确。

#### 参考文献:

[1] 刘军. 机器人自动制孔技术在飞机装配中的应用[J]. 航空制造技术,2014,17(2):104-107.

[2] 雍洋洋,张广才,高新浩,等. 基于机器视觉的机器人装配工作站系统设计与研究[J]. 机械制造与自动化,2018,47(5):184-186,209.

[3] 战强,陈祥臻. 机器人钻铆系统研究与应用现状[J]. 航空制造技术,2018,61(4):24-30.

[4] 张汝婷. 基于线激光扫描的全角度三维成像系统[D]. 杭州:浙江大学,2015.

[5] 贺美华. 基于多传感器的机器人自动钻铆在线检测技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2013.

[6] 杨小丹,李树军,魏海涛,等. 基于视觉检测的机器人自动制孔设备基准找正方法研究[J]. 机械制造,2013,51(11):57-59.

收稿日期:2018-11-30

(上接第 194 页)

箱质量高。各项指标均符合生产需求,实现了灵活生产瓦楞纸箱的自动化,同时该设备可以对接后续的自动打包相关设备,其经济效益和社会效益显著。

#### 参考文献:

[1] 康启来. 纸箱生产线若干生产技术的改造[J]. 印刷质量与标准化,2012(8):59-62.

[2] 周公. 瓦楞纸箱行业深度透析[J]. 中国包装工业,2010(6):46-49.

[3] 林长青. PLC 技术在机械电气控制装置中的运用[J]. 橡塑技术与装备,2016(8):107-108.

[4] 刘凯. 机械电气控制装置 PLC 技术的应用[J]. 山东工业技术,2016,43(6):41-43,121.

[5] 翁海宽,江剑. 基于 PLC 的弹药装填机械手控制系统设计[J]. 机械制造与自动化,2016,45(6):164-168.

[6] 崔坚. SIMATIC S7-1500 与 TIA 博途软件使用指南[M]. 北京:机械工业出版社,2016.

[7] 翟洪杰,刘三国,李聚霞. 包装产品模压精度不高故障浅析[J]. 今日印刷,2017(7):68-69.

[8] 傅晓耕,冯潇潇. 基于 PLC 的剪板机电气控制系统设计与研究[J]. 机械制造与自动化,2018,47(6):203-206.

[9] 黄晓冉,董小雷. 基于 PLC 上药机械手的设计与研究[J]. 制造业自动化,2015(10):107-109.

收稿日期:2019-04-04