



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116823735 B

(45) 授权公告日 2024. 11. 01

(21) 申请号 202310645680.1

G06T 7/80 (2017.01)

(22) 申请日 2023.06.01

G06Q 10/0633 (2023.01)

G06Q 50/04 (2012.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 116823735 A

(56) 对比文件

唐国寅等. 基于三维点云数据的焊缝识别方法研究. 南京工程学院学报(自然科学版). 2023, 第21卷(第3期), 全文.

(43) 申请公布日 2023.09.29

(73) 专利权人 上海赛威德机器人有限公司

地址 200000 上海市闵行区剑川路951弄5幢1层

审查员 寇利敏

(72) 发明人 张华军 左昱昱

(74) 专利代理机构 苏州市中南伟业知识产权代

理事务所(普通合伙) 32257

专利代理师 吴竹慧

(51) Int. Cl.

G06T 7/00 (2017.01)

G06T 7/10 (2017.01)

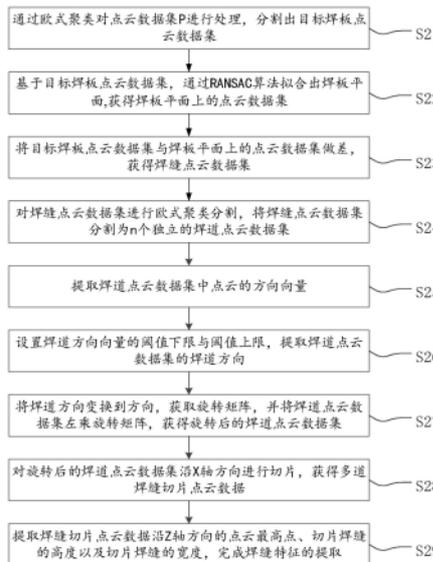
权利要求书3页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

焊缝打磨特征提取方法、焊缝检测与打磨方法

(57) 摘要

本发明涉及一种焊缝打磨特征提取方法、焊缝检测与打磨方法,包括:步骤一、通过3D相机拍摄获取工件的点云信息;步骤二、通过焊缝打磨特征提取方法,提取焊缝打磨的特征;步骤三、依据焊缝打磨特征生成焊缝打磨路径,机器人依据打磨路径,对工件进行打磨工作;步骤四、重复步骤一和步骤二,获取打磨焊缝余高特征,进行焊缝成型检测:若检测通过,则完成打磨作业流程,若检测不通过,则返回步骤三继续进行打磨。其能够实现高效、精准的焊缝打磨特征提取,可以大大提高焊缝特征提取的精度,缩短焊缝特征提取时间,可以用于实现高效机器人焊缝自动化打磨和高效打磨焊缝成型检测。



1. 一种焊缝打磨特征提取方法,其特征在于,包括:

S1、获取待测工件的点云信息,其中,待测工件被着色渗透探伤剂着色,所述点云信息通过红外结构光3D相机采集;

S2、对所述待测工件的原始点云信息进行处理,获得焊缝打磨特征,包括以下步骤:

S21、通过欧式聚类对点云数据集P进行处理,分割出目标焊板点云数据集 P_B ;

S22、基于目标焊板点云数据集 P_B ,通过RANSAC算法拟合出焊板平面,获得焊板平面上的点云数据集 P_S ;

S23、将目标焊板点云数据集 P_B 与焊板平面上的点云数据集 P_S 做差,获得焊缝点云数据集 P_W ;

S24、对焊缝点云数据集 P_W 进行欧式聚类分割,将焊缝点云数据集 P_W 分割为n个独立的焊道点云数据集 P_{W_i} ;

S25、提取焊道点云数据集 P_{W_i} 中点云的方向向量;

S26、设置焊道方向向量的阈值下限 D_1 与阈值上限 D_2 ,提取焊道点云数据集 P_{W_i} 的焊道方向 $\overline{D_{W_i}}$;

S27、将焊道方向 $\overline{D_{W_i}}$ 变换到 \overline{X} 方向,获取旋转矩阵 R_i ,并将焊道点云数据集左乘旋转矩阵 R_i ,获得旋转后的焊道点云数据集;

S28、对旋转后的焊道点云数据集沿X轴方向进行切片,获得多道焊缝切片点云数据 $P_{sliceij}$;

S29、提取焊缝切片点云数据 $P_{sliceij}$ 沿Z轴方向的点云最高点、切片焊缝的高度以及切片焊缝的宽度,完成焊缝特征的提取。

2. 根据权利要求1所述的焊缝打磨特征提取方法,其特征在于,所述S21之前还包括:

对所述点云信息进行体素下采样处理,获得预处理后的点云数据集P。

3. 根据权利要求1所述的焊缝打磨特征提取方法,其特征在于,所述S21包括:

确定查询点 P_i ,设定距离阈值r,所述点云数据集中任意两个点距离d的计算公式为:

$$d(p_i, p_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (p_{ik} - p_{jk})^2}$$

其中, p_i 与 p_j 表示点云中的两个点, p_{ik} 与 p_{jk} 表示两点在邻域中的任意一点;

通过KD-tree找到离查询点 P_i 最近的n个近邻点 p_j ,其中, $j=1, 2, \dots, n$,按照上式计算n个近邻点到查询点 P_i 的欧式距离 d_j ;

比较距离 d_j 与距离阈值r,将小于距离阈值r的点归于类M中,一直到类M中的点数不再增加时,分割完成。

4. 根据权利要求1所述的焊缝打磨特征提取方法,其特征在于,所述S24包括:

对焊缝点云数据集 P_W 进行欧式聚类分割,设定聚类包含点云数量的最小值 κ ,当欧式聚类分割后点云数据集 P_{W_i} 数量大于等于 κ 时,保留分类点云数据集,否则删除分类点云数据集,其中, $i=1, 2, 3 \dots n$,n为大于3的自然数。

5. 根据权利要求1所述的焊缝打磨特征提取方法,其特征在于,所述S25包括:

S251、记焊道点云数据集 P_{W_i} 中共有m个点云数据,选取焊道点云数据集 P_{W_i} 中一个点 $P_{W_{ij}}$

及其周围的 q 个点云数据($j=1,2,3\cdots m$);

S252、计算 $q+1$ 个点云数据的点云质心 C_{Wij} ,公式如下:

$$C_{Wij} = \frac{1}{q+1} \sum_{i=1}^{q+1} P_{Wij};$$

S253、进行点云去质心化处理,将 $q+1$ 个点云数据依次减去点云质心 C_{Wij} ,获得去质心后的点云数据位置矩阵 deM_{ij} ;

S254、构建协方差矩阵: $Cov_{ij} = deM_{ij}^T * deM_{ij}$;

S255、对协方差矩阵 Cov_{ij} 进行奇异值分解,最小奇异值对应的奇异向量 (u_{ij}, v_{ij}, w_{ij}) 为点 P_{Wij} 的法线向量;

S256、判断 j 是否等于 m ,若 j 小于 m ,则返回S251, $j = j+1$;

S257、当 j 等于 m 时,获得焊道点云数据集 P_{Wi} 中所有点云的方向向量。

6. 根据权利要求5所述的焊缝打磨特征提取方法,其特征在于,所述S26包括:

S261、令拟合的焊板平面表达式为 $A_1x+B_1y+C_1z=D_1$,记焊道点云数据集 P_{Wi} 中共有 m 个点云数据,对焊道点云数据集 P_{Wi} 中的点 P_{Wij} 通过以下公式计算其方向向量与焊板平面之间的夹角余弦值 $\cos \Phi_{ij}$:

$$\cos \Phi_{ij} = \frac{u_{ij} * A_1 + v_{ij} * B_1 + w_{ij} * C_1}{\sqrt{(A_1^2 + B_1^2 + C_1^2)(u_{ij}^2 + v_{ij}^2 + w_{ij}^2)}}, \text{其中, } j=1, 2, 3 \dots m;$$

S262、创建数组 D_{Wi} 来存放第 i 条焊道的焊道方向点云数据,当 $D_1 \leq \cos \Phi_{ij} \leq D_2$,则将该点 P_{Wij} 放入数组 D_{Wi} ,否则继续下一步;

S263、判断 j 是否等于 m ,若 j 小于 m ,则返回S261, $j = j+1$;

S264、当 j 等于 m 时,获得焊道方向点云数据集 D_{Wi} ;

S265、计算焊道方向点云数据集 D_{Wi} 的点云质心 C_{Wi} ,坐标记为 (a_i, b_i, c_i) ;

S266、进行点云去质心化处理,将 D_{Wi} 中的点云数据依次减去点云质心 C_{Wi} ,获得去质心后的点云数据位置矩阵 deM_i ;

S267、对位置矩阵 deM_i 进行奇异值分解,获得矩阵 U_i 、 S_i 和 V_i ;

S268、最大特征值对应的特征向量为拟合直线的方向向量,点云质心为拟合直线上的点,即:

$$\begin{cases} l_i = V_i(1,1) \\ m_i = V_i(2,1) \\ n_i = V_i(3,1) \\ y_i = \frac{m_i * (x_i - a_i)}{l_i} + b_i \\ z_i = \frac{n_i * (x_i - a_i)}{l_i} + c_i \end{cases}$$

其中 (x_i, y_i, z_i) 即为拟合空间直线上的点, (l_i, m_i, n_i) 表示拟合直线的焊道方向 $\overrightarrow{D_{Wi}}$ 。

7. 根据权利要求6所述的焊缝打磨特征提取方法,其特征在于,所述S27包括:

将焊道方向 $\overrightarrow{D_{Wi}}$ 转为单位向量:

$$\overrightarrow{nD_{W_i}} = \frac{(l_i, m_i, n_i)}{\sqrt{l_i^2 + m_i^2 + n_i^2}}$$

记 \overline{X} 方向单位向量为 $\overline{nX} (1, 0, 0)$;

当 $\overrightarrow{nD_{W_i}} + \overline{nX} = \mathbf{0}$, 则 $q_i = (0, 0, 0, 0)$, 否则

$$\begin{cases} \overline{u}_i = \frac{\overrightarrow{nD_{W_i}} \times \overline{nX}}{\sqrt{|\overrightarrow{nD_{W_i}}| * |\overline{nX}|}} \\ \Theta_i = \frac{\cos^{-1}(\text{sum}(\overrightarrow{nD_{W_i}} \cdot \overline{nX}))}{2} \\ q_i = (\cos \Theta_i, \sin \Theta_i * \overline{u}_i) \end{cases}$$

式中, $\text{sum}()$ 表示将向量三个方向求和;

由四元数 q_i 构造旋转矩阵 R_i ;

运用旋转矩阵 R_i 将焊道点云数据集 P_{W_i} 坐标变换到其焊道方向与X轴平行方向, 即旋转后的点云数据集 $P_{W_i} = R_i * P_{W_i}^T$ 。

8. 根据权利要求1所述的焊缝打磨特征提取方法, 其特征在于, 所述S28包括:

S281、设置切片点云的间隔 d 和切片点云宽度 f , 每间隔 d 的距离选取宽度为 f 的点云进行切片, 记点云 P_{W_i} 的范围为 $X_{\min i}$ 到 $X_{\max i}$, 其中, i 表示第 i 条焊缝, j 表示第 j 道点云切片, j 从0开始记起;

S282、令 $j = j + 1$, 判断 $X_{\min i} + j * f + (j - 1) * d$ 是否大于 $X_{\max i}$, 当 $X_{\min i} + j * f + (j - 1) * d$ 小于等于 $X_{\max i}$, 则选取坐标范围 $X_{\min i} + (j - 1) * f + (j - 1) * d \sim X_{\min i} + j * f + (j - 1) * d$ 内的点作为切片点云数据 $P_{\text{slice}ij}$;

当 $X_{\min i} + j * f + (j - 1) * d > X_{\max i}$, 则结束此步骤。

9. 根据权利要求1所述的焊缝打磨特征提取方法, 其特征在于, 所述S29包括:

记 $P_{\text{slice}ij}$ 的三维坐标为 $(x_{\text{slice}ij}, y_{\text{slice}ij}, z_{\text{slice}ij})$;

则最高点 $H_{\text{slice}ij} = \max z_{\text{slice}ij}$, 切片焊缝高度 $h_{\text{slice}ij} = \max z_{\text{slice}ij} - \min z_{\text{slice}ij}$, 切片焊缝宽度 $W_{\text{slice}ij} = \max y_{\text{slice}ij} - \min y_{\text{slice}ij}$, 切片焊缝的焊脚位置为 $\max y_{\text{slice}ij}$ 和 $\min y_{\text{slice}ij}$ 。

10. 一种基于3D视觉传感器的焊缝检测与打磨方法, 其特征在于, 包括以下步骤:

步骤一、通过3D相机拍摄获取工件的点云信息;

步骤二、基于权利要求1-9任一项所述的焊缝打磨特征提取方法, 提取焊缝打磨的特征;

步骤三、依据焊缝打磨特征生成焊缝打磨路径, 机器人依据打磨路径, 对工件进行打磨工作;

步骤四、重复步骤一和步骤二, 获取打磨焊缝余高特征, 进行焊缝成型检测: 若检测通过, 则完成打磨作业流程, 若检测不通过, 则返回步骤三继续进行打磨。

焊缝打磨特征提取方法、焊缝检测与打磨方法

技术领域

[0001] 本发明涉及焊接技术领域,尤其是指一种焊缝打磨特征提取方法、焊缝检测与打磨方法。

背景技术

[0002] 随着制造业逐渐朝着自动化、智能化的方向发展,工业机器人在越来越多的领域发挥着重要作用。工业机器人在焊接、打磨、铸造等材料加工工程中都可以替代人工,在某些高噪声、高污染的环境中代替了传统人工生产,大大提高加工效率,减少了人工成本。通过在工业机器人的本体上添加视觉传感、声音传感等方法进行多信息融合大大提高了工业机器人的智能化,使得机器人可以像人工一样处理各种复杂的工况。

[0003] 传统的人工打磨不仅打磨效率低下、打磨质量不稳定,而且会对工人的身心造成巨大伤害,因此实现自动化打磨对于代替人工具有重要意义。目前在自动化打磨领域中应用最广泛的仍旧是多轴数控机床(CNC),但多轴数控机床造价成本高昂,且扩展性、灵活性差,无法应用在大型焊缝的打磨加工中。与多轴数控机床相比,工业机器人具有更广阔的且可拓展的操作空间以及更低的价格,在打磨领域应用更具有前景,尤其是在大型工件的打磨上,工业机器人的优势显而易见。机器人加工操作可以根据工艺知识模型和多传感器反馈信息实时优化运行参数,从而实现了设备在过程中的主动控制。

[0004] 打磨焊缝的成型一般对焊缝余高有一定要求,传统的打磨焊缝成型检测方法一般是采用人工测量方法,这种方法不仅耗时长,而且检测精度不高,也有采用轮廓仪进行打磨焊缝成型表面检测的方法,但仅可应用在尺寸较小的工件上。视觉传感作为实现机器人自动化打磨中重要的传感器之一,通过3D相机可以实现对打磨工件的三维重建,提取焊缝的关键特征点不仅可以用于后续打磨路径规划,还可以用于打磨焊缝成型的检测,判断打磨焊缝成型是否合格。目前常用的视觉传感器为线激光3D相机,线激光3D相机虽然具有较高的重建精度,但是其三维重建效率较低,三维重建速度慢,不利于自动化打磨流程的高效进行。

发明内容

[0005] 为此,本发明所要解决的技术问题在于克服现有技术中焊缝打磨中三维重建精度低,无法准确提取特征的技术缺陷。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明提供了一种焊缝打磨特征提取方法,包括:

[0007] S1、获取待测工件的点云信息,其中,待测工件被着色渗透探伤剂着色,所述点云信息通过红外结构光3D相机采集;

[0008] S2、对所述待测工件的原始点云信息进行处理,获得焊缝打磨特征,包括以下步骤:

[0009] S21、通过欧式聚类对点云数据集P进行处理,分割出目标焊板点云数据集 P_B ;

[0010] S22、基于目标焊板点云数据集 P_B ,通过RANSAC算法拟合出焊板平面,获得焊板平

面上的点云数据集 P_S ;

[0011] S23、将目标焊板点云数据集 P_B 与焊板平面上的点云数据集 P_S 做差,获得焊缝点云数据集 P_W ;

[0012] S24、对焊缝点云数据集 P_W 进行欧式聚类分割,将焊缝点云数据集 P_W 分割为 n 个独立的焊道点云数据集 P_{W_i} ;

[0013] S25、提取焊道点云数据集 P_{W_i} 中点云的方向向量;

[0014] S26、设置焊道方向向量的阈值下限 D_1 与阈值上限 D_2 ,提取焊道点云数据集 P_{W_i} 的焊道方向 $\overrightarrow{D_{W_i}}$;

[0015] S27、将焊道方向 $\overrightarrow{D_{W_i}}$ 变换到 \vec{X} 方向,获取旋转矩阵 R_i ,并将焊道点云数据集左乘旋转矩阵 R_i ,获得旋转后的焊道点云数据集;

[0016] S28、对旋转后的焊道点云数据集沿X轴方向进行切片,获得多道焊缝切片点云数据 $P_{sliceij}$;

[0017] S29、提取焊缝切片点云数据 $P_{sliceij}$ 沿Z轴方向的点云最高点、切片焊缝的高度以及切片焊缝的宽度,完成焊缝特征的提取。

[0018] 作为优选的,所述S21之前还包括:

[0019] 对所述点云信息进行体素下采样处理,获得预处理后的点云数据集 P 。

[0020] 作为优选的,所述S21包括:

[0021] 确定查询点 P_i ,设定距离阈值 r ,所述点云数据集中任意两个点距离 d 的计算公式为:

$$[0022] \quad d(p_i, p_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (p_{ik} - p_{jk})^2}$$

[0023] 其中, p_i 与 p_j 表示点云中的两个点, p_{ik} 与 p_{jk} 表示两点在邻域中的任意一点;

[0024] 通过KD-tree找到离查询点 P_i 最近的 n 个近邻点 p_j ,其中, $j=1,2,\dots,n$,按照上式计算 n 个近邻点到查询点 P_i 的欧式距离 d_j ;

[0025] 比较距离 d_j 与距离阈值 r ,将小于距离阈值 r 的点归于类 M 中,一直到类 M 中的点数不再增加时,分割完成。

[0026] 作为优选的,所述S24包括:

[0027] 对焊缝点云数据集 P_W 进行欧式聚类分割,设定聚类包含点云数量的最小值 κ ,当欧式聚类分割后点云数据集 P_{W_i} 数量大于等于 κ 时,保留该分类点云数据集,否则删除该分类点云数据集,其中, $i=1,2,3\cdots n$, n 为大于3的自然数。

[0028] 作为优选的,所述S25包括:

[0029] S251、记焊道点云数据集 P_{W_i} 中共有 m 个点云数据,选取焊道点云数据集 P_{W_i} 中一个点 $P_{W_{ij}}$ 及其周围的 q 个点云数据($j=1,2,3\cdots m$);

[0030] S252、计算 $q+1$ 个点云数据的点云质心 $C_{W_{ij}}$,公式如下:

$$[0031] \quad C_{W_{ij}} = \frac{1}{q+1} \sum_{i=1}^{q+1} P_{W_{ij}};$$

[0032] S253、进行点云去质心化处理,将 $q+1$ 个点云数据依次减去点云质心 $C_{W_{ij}}$,获得去质

心后的点云数据位置矩阵 deM_{ij} ;

[0033] S254、构建协方差矩阵: $Cov_{ij}=deM_{ij}^T*deM_{ij}$;

[0034] S255、对协方差矩阵 Cov_{ij} 进行奇异值分解,最小奇异值对应的奇异向量 (u_{ij}, v_{ij}, w_{ij}) 为点 P_{wij} 的法线向量;

[0035] S256、判断 j 是否等于 m ,若 j 小于 m ,则返回S251, $j=j+1$;

[0036] S257、当 j 等于 m 时,获得焊道点云数据集 P_{wi} 中所有点云的方向向量。

[0037] 作为优选的,所述S26包括:

[0038] S261、令拟合的焊板平面表达式为 $A_1x+B_1y+C_1z=D_1$,记焊道点云数据集 P_{wi} 中共有 m 个点云数据,对焊道点云数据集 P_{wi} 中的点 P_{wij} 通过以下公式计算其方向向量与焊板平面之间的夹角余弦值 $\cos \Phi_{ij}$:

$$[0039] \quad \cos \Phi_{ij} = \frac{u_{ij}*A_1+v_{ij}*B_1+w_{ij}*C_1}{\sqrt{(A_1^2+B_1^2+C_1^2)(u_{ij}^2+v_{ij}^2+w_{ij}^2)}}, \text{其中}, j=1, 2, 3 \dots m;$$

[0040] S262、创建数组 D_{wi} 来存放第 i 条焊道的焊道方向点云数据,当 $D_1 \leq \cos \Phi_{ij} \leq D_2$,则将该点 P_{wij} 放入数组 D_{wi} ,否则继续下一步;

[0041] S263、判断 j 是否等于 m ,若 j 小于 m ,则返回S261, $j=j+1$;

[0042] S264、当 j 等于 m 时,获得焊道方向点云数据集 D_{wi} ;

[0043] S265、计算焊道方向点云数据集 D_{wi} 的点云质心 C_{wi} ,坐标记为 (a_i, b_i, c_i) ;

[0044] S266、进行点云去质心化处理,将 D_{wi} 中的点云数据依次减去点云质心 C_{wi} ,获得去质心后的点云数据位置矩阵 deM_i ;

[0045] S267、对位置矩阵 deM_i 进行奇异值分解,获得矩阵 U_i 、 S_i 和 V_i ;

[0046] S268、最大特征值对应的特征向量为拟合直线的方向向量,点云质心为拟合直线上的一点,即:

$$[0047] \quad \begin{cases} l_i = V_i(1,1) \\ m_i = V_i(2,1) \\ n_i = V_i(3,1) \\ y_i = \frac{m_i * (x_i - a_i)}{l_i} + b_i \\ z_i = \frac{n_i * (x_i - a_i)}{l_i} + c_i \end{cases}$$

[0048] 其中 (x_i, y_i, z_i) 即为拟合空间直线上的点, (l_i, m_i, n_i) 表示拟合直线的焊道方向 $\overrightarrow{D_{w1}}$ 。

[0049] 作为优选的,所述S27包括:

[0050] 将焊道方向 $\overrightarrow{D_{w1}}$ 转为单位向量:

$$[0051] \quad \overrightarrow{nD_{w1}} = \frac{(l_i, m_i, n_i)}{\sqrt{l_i^2 + m_i^2 + n_i^2}}$$

[0052] 记 \vec{X} 方向单位向量为 \vec{nX} (1, 0, 0);

[0053] 当 $\vec{nD_{W1}} + \vec{nX} = 0$, 则 $q_i = (0, 0, 0, 0)$, 否则

$$[0054] \begin{cases} \vec{u}_i = \frac{\vec{nD_{W1}} \times \vec{nX}}{\sqrt{|\vec{nD_{W1}}| * |\vec{nX}|}} \\ \Theta_i = \frac{\cos^{-1}(\text{sum}(\vec{nD_{W1}} \cdot \vec{nX}))}{2} \\ q_i = (\cos \Theta_i, \sin \Theta_i * \vec{u}_i) \end{cases}$$

[0055] 式中, sum() 表示将向量三个方向求和;

[0056] 由四元数 q_i 构造旋转矩阵 R_i ;

[0057] 运用旋转矩阵 R_i 将焊道点云数据集 P_{W1} 坐标变换到其焊道方向与X轴平行方向, 即旋转后的点云数据集 $P_{W1} = R_i * P_{W1}^T$ 。

[0058] 作为优选的, 所述S28包括:

[0059] S281、设置切片点云的间隔 d 和切片点云宽度 f , 每间隔 d 的距离选取宽度为 f 的点云进行切片, 记点云 P_{W1} 的范围为 $X_{\min i}$ 到 $X_{\max i}$, 其中, i 表示第 i 条焊缝, j 表示第 j 道点云切片, j 从0开始记起;

[0060] S282、令 $j = j + 1$, 判断 $X_{\min i} + j * f + (j - 1) * d$ 是否大于 $X_{\max i}$, 当 $X_{\min i} + j * f + (j - 1) * d$ 小于等于 $X_{\max i}$, 则选取坐标范围 $X_{\min i} + (j - 1) * f + (j - 1) * d \sim X_{\min i} + j * f + (j - 1) * d$ 内的点作为切片点云数据 $P_{\text{slice}ij}$;

[0061] 当 $X_{\min i} + j * f + (j - 1) * d > X_{\max i}$, 则结束此步骤。

[0062] 作为优选的, 所述S29包括:

[0063] 记 $P_{\text{slice}ij}$ 的三维坐标为 $(x_{\text{slice}ij}, y_{\text{slice}ij}, z_{\text{slice}ij})$;

[0064] 则最高点 $H_{\text{slice}ij} = \max z_{\text{slice}ij}$, 切片焊缝高度 $h_{\text{slice}ij} = \max z_{\text{slice}ij} - \min z_{\text{slice}ij}$, 切片焊缝宽度 $W_{\text{slice}ij} = \max y_{\text{slice}ij} - \min y_{\text{slice}ij}$, 切片焊缝的焊脚位置为 $\max y_{\text{slice}ij}$ 和 $\min y_{\text{slice}ij}$ 。

[0065] 本发明公开了一种基于3D视觉传感器的焊缝检测与打磨方法, 包括以下步骤:

[0066] 步骤一、通过3D相机拍摄获取工件的点云信息;

[0067] 步骤二、基于上述的焊缝打磨特征提取方法, 提取焊缝打磨的特征;

[0068] 步骤三、依据焊缝打磨特征生成焊缝打磨路径, 机器人依据打磨路径, 对工件进行打磨工作;

[0069] 步骤四、重复步骤一和步骤二, 获取打磨焊缝余高特征, 进行焊缝成型检测: 若检测通过, 则完成打磨作业流程, 若检测不通过, 则返回步骤三继续进行打磨。

[0070] 本发明的上述技术方案相比现有技术具有以下优点:

[0071] 1、本发明提供一种基于3D视觉传感的机器人焊缝打磨特征提取方法, 其能够实现高效、精准的焊缝打磨特征提取, 可以大大提高焊缝特征提取的精度, 缩短焊缝特征提取时间, 可以用于实现高效机器人焊缝自动化打磨和高效打磨焊缝成型检测。

[0072] 2、本发明的三维重建速度快, 能够快速对三维模型进行处理, 提取出关键的结构特征, 能够实现高效机器人焊缝自动化打磨和高效打磨焊缝成型检测。

附图说明

- [0073] 图1为本发明焊缝打磨特征提取方法的流程图；
 [0074] 图2为基于3D视觉传感器的焊缝检测与打磨方法的流程图。

具体实施方式

[0075] 下面结合附图和具体实施例对本发明作进一步说明,以使本领域的技术人员可以更好地理解本发明并能予以实施,但所举实施例不作为对本发明的限定。

[0076] 参照图1所示,本发明公开了一种焊缝打磨特征提取方法,包括:

[0077] S1、获取待测工件的点云信息,其中,待测工件被着色渗透探伤剂着色,所述点云信息通过红外结构光3D相机采集。

[0078] 具体的,常用的3D相机包括线激光3D相机和结构光3D相机,线激光3D相机需要跟随机器人移动拍摄多幅线激光照片并通过线激光提取算法来完成三维重建,效率较低;结构光3D相机可以直接获取所拍摄工件的点云信息,但拍摄反光工件时获取的点云信息质量较差。本发明采用红外结构光3D相机,提出一种金属表面处理方法,可有效避免红外结构光3D相机拍摄反光金属表面成像效果差的问题,实现高效的工件点云信息获取。具体实施方法为将DPT-5着色渗透探伤剂喷洒在工件表面,再使用红外结构光3D相机拍摄,调节较高的曝光时间,即可获得高质量的工件点云信息。DPT-5着色渗透探伤剂是无损检测中常用的一种高效便捷的方法,其方便清洗,使用清洗剂或水(水压 $\leq 1.5\text{kg}/\text{cm}^2$)即可将工件表面的渗透剂擦洗干净。

[0079] 在采集照片之前首先进行机器人TCP标定及3D相机的内参矩阵和手眼转换矩阵标定。机器人TCP的标定点选取为EHA浮动打磨头的中心点。通过改变机器人六轴姿态拍摄多幅照片完成标定,获得3D相机的内参矩阵 R_L^C 和手眼转换矩阵 T_C^T ,接下来进行照片的采集。

[0080] 在采集照片过程中依照如下流程:

[0081] ①提前设定拍照位置和拍照数量 n ;

[0082] ②机器人移动到预设点位进行拍照;

[0083] ③检测拍照数目是否等于 n ,若小于 n 则返回第②步继续拍摄;

[0084] ④将采集的 n 张点云照片发送给工控机;

[0085] ⑤工控机对采集的点云照片进行点云拼接,获得工件的整体点云信息;

[0086] ⑥通过如下公式获得机器人坐标系下的位置坐标 P_R :

$$[0087] \quad P_R = T_T^R T_C^T R_L^C P_L$$

[0088] 其中, P_L 为点云信息在图像坐标系下的坐标值, R_L^C 为图像坐标系到相机坐标系的转换矩阵,即相机内参, T_C^T 为相机坐标系到工具坐标系的转换矩阵,即相机手眼转换矩阵, T_T^R 为工具坐标系到机器人坐标系的转换矩阵, P_R 为机器人坐标系下的点云信息三维坐标值。

[0089] S2、对所述待测工件的原始点云信息进行处理,获得焊缝打磨特征,包括以下步骤:

[0090] S21、通过欧式聚类对点云数据集 P 进行处理,分割出目标焊板点云数据集 P_B 。

[0091] 由于3D相机拍摄的信息不仅包含目标焊板点云信息,还包含周围场景点云信息,因此需要将不必要的点云去除掉,以便于提取出焊板本身的点云信息。欧式聚类的本质是将距离较近的点归为一类,对于点云C中有n个点,定义欧式距离作为其中两个点的亲疏程度,以近邻点之间的距离作为标准,从而实现点云聚类分割。分割具体过程为:

[0092] S211、对于体素下采样预处理后的点云数据集P,确定查询点 P_i ,设定距离阈值r,所述点云数据集中任意两个点距离d的计算公式为:

$$[0093] \quad d(p_i, p_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (p_{ik} - p_{jk})^2}$$

[0094] 其中, p_i 与 p_j 表示点云中的两个点, p_{ik} 与 p_{jk} 表示两点在邻域中的任意一点;

[0095] S212、通过KD-tree找到离查询点 P_i 最近的n个近邻点 p_j ($j=1, 2, \dots, n$),按照上式计算n个近邻点到查询点 P_i 的欧式距离 d_j ;

[0096] S213、比较距离 d_j 与距离阈值r,将小于距离阈值r的点归于类M中,一直到类M中的点数不再增加时,分割完成。

[0097] 在完成欧式聚类后,由于前期拍照位的合理选择,选取聚类点云数量最多的一组作为焊板整体点云 P_B ,实现焊板整体点云信息的分割。

[0098] S22、基于目标焊板点云数据集 P_B ,通过RANSAC算法拟合出焊板平面,获得焊板平面上的点云数据集 P_S 。

[0099] RANSAC算法即随机一致性算法,是一种行之有效的稳健估计方法,在点云数据误差值较大的情况下仍能得到比较理想的拟合结果。RANSAC算法流程如下:

[0100] 1) 计算公式 $P=1-(1-(1-\epsilon)^m)^M$,式中P表示至少取得一个良性子集的概率, ϵ 表示数据错误率,m为计算模型参数需要的最小数据量,M为基本子集最小抽样数。根据给定的 ϵ 、P及m计算最小抽样数M;

[0101] 2) 计算出的最小迭代次数M从点云数据中随机抽取m个点,利用公式 $ax+by+cz=d$ 及参数之间 $a^2+b^2+c^2=1$ 的关系计算平面模型参数的初始值;

[0102] 3) 设定阈值 δ_0 ,对数据集中的所有点,根据计算出的模型参数的初始值利用公式 $d_i = |a_{xi} + b_{yi} + c_{zi} - d|$ 计算其容忍值 δ ;若在阈值范围 δ_0 内,则将其归为局内点,否则归为局外点;

[0103] 4) 重复2)、3)步M次,统计每次分类后的局内点数量,选择局内点数量最大时的那组点,将最大数量的局内点进行特征值拟合得到最终的平面模型参数;

[0104] 5) 计算目标焊板点云数据集 P_B 中处于拟合平面上的点云数据集 P_S 。

[0105] 通过RANSAC算法拟合出焊板平面后可以获得所有在焊板平面上的点云数据。

[0106] S23、将目标焊板点云数据集 P_B 与焊板平面上的点云数据集 P_S 做差,获得焊缝点云数据集 P_W ;

[0107] S24、对焊缝点云数据集 P_W 进行欧式聚类分割,将焊缝点云数据集 P_W 分割为n个独立的焊道点云数据集 P_{wi} ,包括:

[0108] 对焊缝点云数据集 P_W 进行欧式聚类分割,设定聚类包含点云数量的最小值 κ ,当欧式聚类分割后点云数据集 P_{wi} 数量大于等于 κ 时,保留该分类点云数据集,否则删除该分类点

云数据集,其中, $i=1,2,3\cdots n$, n 为大于3的自然数。

[0109] 通过选取适当的参数 κ 可以将焊缝点云数据集 P_w 分割为 n 个独立的焊道点云数据集 P_{w_i} ;

[0110] S25、提取焊道点云数据集 P_{w_i} 中点云的方向向量,包括:

[0111] S251、记焊道点云数据集 P_{w_i} 中共有 m 个点云数据,选取焊道点云数据集 P_{w_i} 中一个点 $P_{w_{ij}}$ 及其周围的 q 个点云数据($j=1,2,3\cdots m$);

[0112] S252、计算 $q+1$ 个点云数据的点云质心 $C_{w_{ij}}$,公式如下:

$$[0113] \quad C_{w_{ij}} = \frac{1}{q+1} \sum_{i=1}^{q+1} P_{w_{ij}};$$

[0114] S253、进行点云去质心化处理,将 $q+1$ 个点云数据依次减去点云质心 $C_{w_{ij}}$,获得去质心后的点云数据位置矩阵 deM_{ij} ;

[0115] S254、构建协方差矩阵: $Cov_{ij} = deM_{ij}^T * deM_{ij}$;

[0116] S255、对协方差矩阵 Cov_{ij} 进行奇异值分解,最小奇异值对应的奇异向量 (u_{ij}, v_{ij}, w_{ij}) 为点 $P_{w_{ij}}$ 的法线向量;

[0117] S256、判断 j 是否等于 m ,若 j 小于 m ,则返回S251, $j=j+1$;

[0118] S257、当 j 等于 m 时,获得焊道点云数据集 P_{w_i} 中所有点云的方向向量。

[0119] S26、设置焊道方向向量的阈值下限 D_1 与阈值上限 D_2 ,提取焊道点云数据集 P_{w_i} 的焊道方向 $\overline{D_{w_i}}$,包括:

[0120] S261、令拟合的焊板平面表达式为 $A_1x+B_1y+C_1z=D_1$,记焊道点云数据集 P_{w_i} 中共有 m 个点云数据,对焊道点云数据集 P_{w_i} 中的点 $P_{w_{ij}}$ 通过以下公式计算其方向向量与焊板平面之间的夹角余弦值 $\cos \Phi_{ij}$:

$$[0121] \quad \cos \Phi_{ij} = \frac{u_{ij} * A_1 + v_{ij} * B_1 + w_{ij} * C_1}{\sqrt{(A_1^2 + B_1^2 + C_1^2)(u_{ij}^2 + v_{ij}^2 + w_{ij}^2)}}, \text{其中}, j=1, 2, 3 \cdots m;$$

[0122] S262、创建数组 D_{w_i} 来存放第 i 条焊道的焊道方向点云数据,当 $D_1 \leq \cos \Phi_{ij} \leq D_2$,则将点 $P_{w_{ij}}$ 放入数组 D_{w_i} ,否则继续下一步;

[0123] S263、判断 j 是否等于 m ,若 j 小于 m ,则返回S261, $j=j+1$;

[0124] S264、当 j 等于 m 时,获得焊道方向点云数据集 D_{w_i} ;

[0125] S265、计算焊道方向点云数据集 D_{w_i} 的点云质心 C_{w_i} ,坐标记为 (a_i, b_i, c_i) ;

[0126] S266、进行点云去质心化处理,将 D_{w_i} 中的点云数据依次减去点云质心 C_{w_i} ,获得去质心后的点云数据位置矩阵 deM_i ;

[0127] S267、对位置矩阵 deM_i 进行奇异值分解,获得矩阵 U_i, S_i 和 V_i ;

[0128] S268、最大特征值对应的特征向量为拟合直线的方向向量,点云质心为拟合直线上的一点,即:

$$[0129] \quad \begin{cases} l_i = V_i(1,1) \\ m_i = V_i(2,1) \\ n_i = V_i(3,1) \\ y_i = \frac{m_i * (x_i - a_i)}{l_i} + b_i \\ z_i = \frac{n_i * (x_i - a_i)}{l_i} + c_i \end{cases}$$

[0130] 其中 (x_i, y_i, z_i) 即为拟合空间直线上的点, (l_i, m_i, n_i) 表示拟合直线的焊道方向 $\overrightarrow{D_{W1}}$ 。

[0131] S27、将焊道方向 $\overrightarrow{D_{W1}}$ 变换到 \overrightarrow{X} 方向, 获取旋转矩阵 R_i , 并将焊道点云数据集左乘旋转矩阵 R_i , 获得旋转后的焊道点云数据集。

[0132] 由于焊道方向与 x 轴可能并不平行, 为了便于后续计算, 将焊道方向由焊道方向向量 $\overrightarrow{D_{W1}}$ 转换到 \overrightarrow{X} 方向的具体流程如下:

[0133] 将焊道方向 $\overrightarrow{D_{W1}}$ 转为单位向量:

$$[0134] \quad \overrightarrow{nD_{W1}} = \frac{(l_i, m_i, n_i)}{\sqrt{l_i^2 + m_i^2 + n_i^2}}$$

[0135] 记 \overrightarrow{X} 方向单位向量为 $\overrightarrow{nX} (1, 0, 0)$;

[0136] 当 $\overrightarrow{nD_{W1}} + \overrightarrow{nX} = 0$, 则 $q_i = (0, 0, 0, 0)$, 否则

$$[0137] \quad \begin{cases} \vec{u}_i = \frac{\overrightarrow{nD_{W1}} \times \overrightarrow{nX}}{\sqrt{|\overrightarrow{nD_{W1}}| * |\overrightarrow{nX}|}} \\ \Theta_i = \frac{\cos^{-1}(\text{sum}(\overrightarrow{nD_{W1}} \cdot \overrightarrow{nX}))}{2} \\ q_i = (\cos \Theta_i, \sin \Theta_i * \vec{u}_i) \end{cases}$$

[0138] 式中, $\text{sum}()$ 表示将向量三个方向求和;

[0139] 由四元数 q_i 构造旋转矩阵 R_i ;

[0140] 运用旋转矩阵 R_i 将焊道点云数据集 P_{W1} 坐标变换到其焊道方向与 X 轴平行方向, 即旋转后的点云数据集 $P_{W1} = R_i * P_{W1}^T$ 。

[0141] S28、对旋转后的焊道点云数据集沿 X 轴方向进行切片, 获得多道焊缝切片点云数据 $P_{\text{slice}ij}$, 包括:

[0142] S281、设置切片点云的间隔 d 和切片点云宽度 f , 每间隔 d 的距离选取宽度为 f 的点云进行切片, 记点云 P_{W1} 的范围为 X_{mini} 到 X_{maxi} , 其中, i 表示第 i 条焊缝, j 表示第 j 道点云切片, j 从 0 开始记起;

[0143] S282、令 $j = j+1$, 判断 $X_{\text{mini}} + j*f + (j-1)*d$ 是否大于 X_{maxi} , 当 $X_{\text{mini}} + j*f + (j-1)*d$ 小于

等于 $X_{\max i}$,则选取坐标范围 $X_{\min i}+(j-1)*f+(j-1)*d \sim X_{\min i}+j*f+(j-1)*d$ 内的点作为切片点云数据 P_{sliceij} ;

[0144] 当 $X_{\min i}+j*f+(j-1)*d > X_{\max i}$,则结束此步骤。

[0145] S29、提取焊缝切片点云数据 P_{sliceij} 沿Z轴方向的点云最高点、切片焊缝的高度以及切片焊缝的宽度,完成焊缝特征的提取,包括:

[0146] 记 P_{sliceij} 的三维坐标为 $(x_{\text{sliceij}}, y_{\text{sliceij}}, z_{\text{sliceij}})$;

[0147] 则最高点 $H_{\text{sliceij}} = \max z_{\text{sliceij}}$,切片焊缝高度 $h_{\text{sliceij}} = \max z_{\text{sliceij}} - \min z_{\text{sliceij}}$,切片焊缝宽度 $W_{\text{sliceij}} = \max y_{\text{sliceij}} - \min y_{\text{sliceij}}$,切片焊缝的焊脚位置为 $\max y_{\text{sliceij}}$ 和 $\min y_{\text{sliceij}}$ 。

[0148] 进一步的,所述S21之前还包括:对所述点云信息进行体素下采样处理,获得预处理后的点云数据集P。

[0149] 具体的,点云下采样是对点云以一定的采样规则重新进行采样,目的是在保证点云整体几何特征不变的情况下,降低点云密度,进而可以降低相关处理的数据量和算法复杂度,提高后续点云算法的处理速度。体素下采样是一种非常高效的点云下采样方法,采样点分布较为均匀,处理效果较好。体素下采样过程为:

[0150] 1) 通过点云坐标值可以得到X、Y、Z在3个方向坐标系上的最大值 X_{\max} 、 Y_{\max} 、 Z_{\max} ,最小值 X_{\min} 、 Y_{\min} 、 Z_{\min} ,利用最大值减去最小值算出包围盒边长 l_x 、 l_y 、 l_z :

$$[0151] \begin{cases} l_x = X_{\max} - X_{\min} \\ l_y = Y_{\max} - Y_{\min} \\ l_z = Z_{\max} - Z_{\min} \end{cases}$$

[0152] 2) 设置体素小立方体边长 $cell$ 3个方向X、Y、Z坐标轴切割成M、N、L份,因此一共得到 $SUM = M*N*L$ 体素小立方体,其中 floor 表示向下方向取整:

$$[0153] \begin{cases} M = \text{floor}\left(\frac{l_x}{cell}\right) \\ N = \text{floor}\left(\frac{l_y}{cell}\right) \\ L = \text{floor}\left(\frac{l_z}{cell}\right) \end{cases}$$

[0154] 3) 将每个体素小立方体进行标号为 (x, y, z) ,得到每个对应数据点的体素小立方体:

$$[0155] \begin{cases} i = \text{floor}\left(\frac{X_i - X_{\min}}{cell}\right) \\ j = \text{floor}\left(\frac{Y_i - Y_{\min}}{cell}\right) \\ k = \text{floor}\left(\frac{Z_i - Z_{\min}}{cell}\right) \end{cases}$$

[0156] 4) 计算每个点云的质心,只保留每个体素立方体的质心点云,将其他点云去除。点云质心计算方法为:

$$[0157] \quad C_{ijk} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k P_i。$$

[0158] 参照图2所示,本发明还公开了一种基于3D视觉传感器的焊缝检测与打磨方法,包括以下步骤:

[0159] 步骤一、通过3D相机拍摄获取工件的点云信息;

[0160] 步骤二、基于上述的焊缝打磨特征提取方法,提取焊缝打磨的特征;

[0161] 步骤三、依据焊缝打磨特征生成焊缝打磨路径,机器人依据打磨路径,对工件进行打磨工作。

[0162] 具体的,由步骤三中提取的焊缝特征点生成焊缝打磨路径,通过上位机将打磨点位姿态实时发送给机器人,机器人执行打磨工作。

[0163] 步骤四、重复步骤一和步骤二,获取打磨焊缝余高特征,通过焊缝切片点云的最高点 $H_{sliceij}$ 与焊缝余高要求进行对比检测,进行焊缝成型检测:若检测通过,则完成打磨作业流程,若检测不通过,则返回步骤三继续进行打磨。

[0164] 本领域内的技术人员应明白,本申请的实施例可提供为方法、系统、或计算机程序产品。因此,本申请可采用完全硬件实施例、完全软件实施例、或结合软件和硬件方面的实施例的形式。而且,本申请可采用在一个或多个其中包含有计算机可用程序代码的计算机可用存储介质(包括但不限于磁盘存储器、CD-ROM、光学存储器等)上实施的计算机程序产品的形式。

[0165] 本申请是参照根据本申请实施例的方法、设备(系统)、和计算机程序产品的流程图和/或方框图来描述的。应理解可由计算机程序指令实现流程图和/或方框图中的每一流程和/或方框、以及流程图和/或方框图中的流程和/或方框的结合。可提供这些计算机程序指令到通用计算机、专用计算机、嵌入式处理机或其他可编程数据处理设备的处理器以产生一个机器,使得通过计算机或其他可编程数据处理设备的处理器执行的指令产生用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的装置。

[0166] 这些计算机程序指令也可存储在能引导计算机或其他可编程数据处理设备以特定方式工作的计算机可读存储器中,使得存储在该计算机可读存储器中的指令产生包括指令装置的制造品,该指令装置实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能。

[0167] 这些计算机程序指令也可装载到计算机或其他可编程数据处理设备上,使得在计算机或其他可编程设备上执行一系列操作步骤以产生计算机实现的处理,从而在计算机或其他可编程设备上执行的指令提供用于实现在流程图一个流程或多个流程和/或方框图一个方框或多个方框中指定的功能的步骤。

[0168] 显然,上述实施例仅仅是为清楚地说明所作的举例,并非对实施方式的限定。对于所属领域的普通技术人员来说,在上述说明的基础上还可以做出其它不同形式变化或变动。这里无需也无法对所有的实施方式予以穷举。而由此所引伸出的显而易见的变化或变动仍处于本发明创造的保护范围之内。

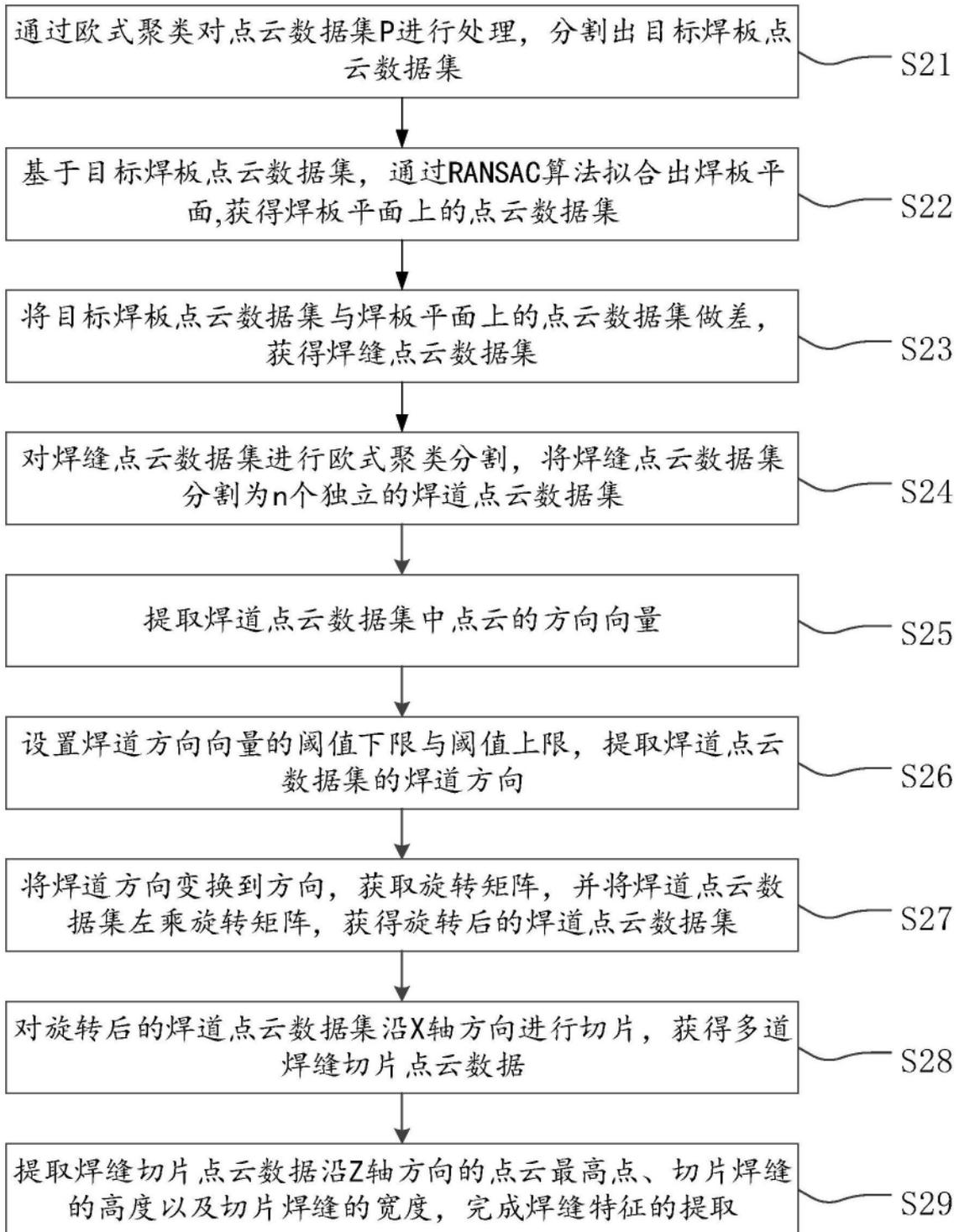


图1

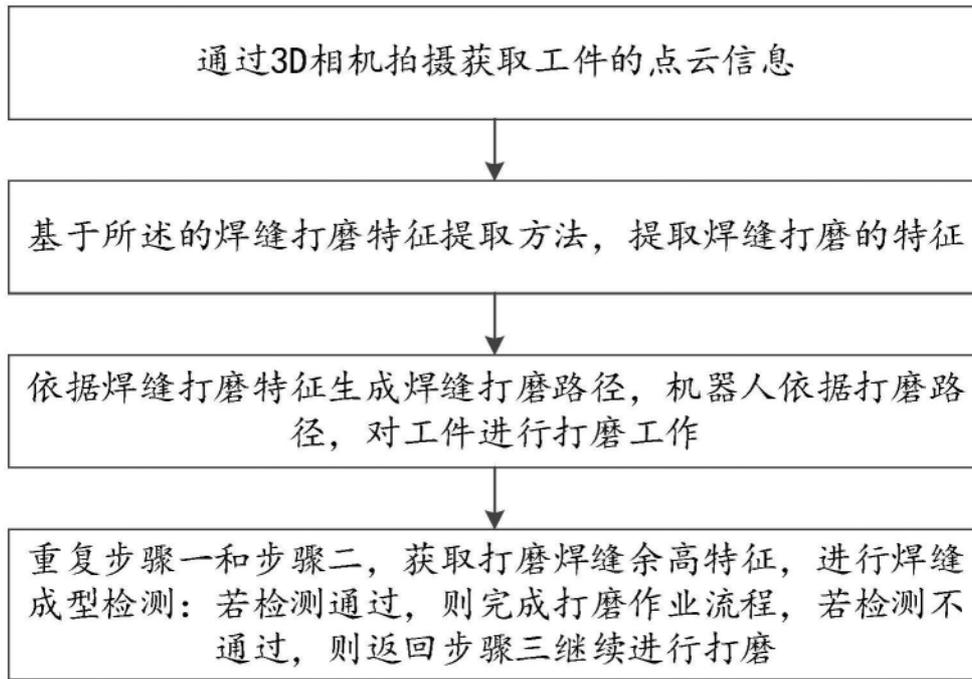


图2