



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112828552 B

(45) 授权公告日 2022.05.20

(21) 申请号 202110127376.9

G06T 7/73 (2017.01)

(22) 申请日 2021.01.29

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 112828552 A

CN 112082493 A, 2020.12.15

CN 108931194 A, 2018.12.04

CN 110268221 A, 2019.09.20

(43) 申请公布日 2021.05.25

CN 111638680 A, 2020.09.08

CN 201053864 Y, 2008.04.30

(73) 专利权人 华中科技大学

CN 106903663 A, 2017.06.30

CN 108274231 A, 2018.07.13

CN 107138944 A, 2017.09.08

CN 109373898 A, 2019.02.22

US 2020055192 A1, 2020.02.20

地址 430074 湖北省武汉市洪山区珞喻路
1037号

(72) 发明人 李维嘉 雷盼 李天匀 刘法佑
孙在军 刘成权

(74) 专利代理机构 华中科技大学专利中心
42201

专利代理师 孔娜 李智

雷盼等. 面向智能装配的残缺图像坐标系姿
测量算法.《2019全国仿真技术学术会议论文
集》.2019,

王学琨等. 基于DE的时间最优6-DOF机械臂
轨迹规划算法.《计算机仿真》.2015, (第08期),

杨明等. SCARA四轴机器人控制系统综述.
《电气传动》.2020, (第01期),

(51) Int. Cl.

B23P 19/00 (2006.01)

B25J 9/16 (2006.01)

G06F 30/20 (2020.01)

G06T 3/00 (2006.01)

G06T 5/00 (2006.01)

审查员 易诗妍

权利要求书3页 说明书8页 附图6页

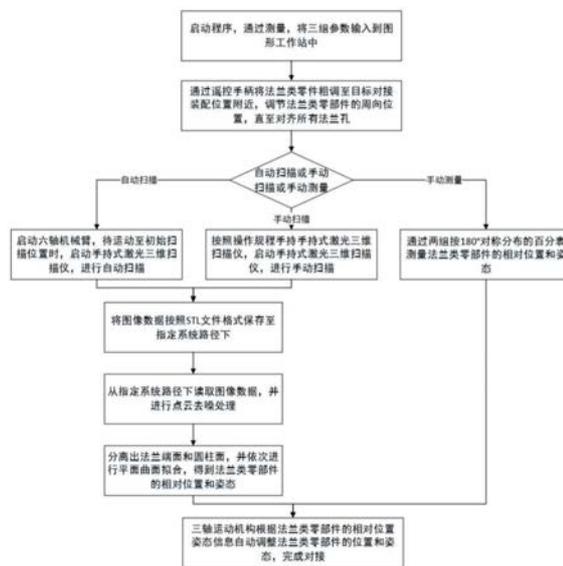
(54) 发明名称

一种法兰零件智能对接方法及系统

(57) 摘要

本发明属于智能装配技术领域,并具体公开了一种法兰零件智能对接方法及系统,其包括步骤:S1、获取待对接法兰零件的点云图像,从点云图像中分离出两个法兰端面,进而分离得到两个法兰圆柱面;S2、将两个法兰端面进行拟合,并拟合法兰端面边界圆,进而得到法兰端面圆心坐标和法矢量初值;S3、将两个法兰圆柱面投影至已拟合的法兰端面上,并对法兰圆柱面进行去噪,将投影、去噪后的法兰圆柱面进行拟合,进而计算得到最终圆心坐标和法矢量;S4、根据最终圆心坐标和法矢量,移动待对接法兰零件,完成法兰零件智能对接。本发明可实现法兰类零部件空间位置和姿态的高精度识别定位和快速调整,极

大提高了对接装配工作的效率和精度。



CN 112828552 B

1. 一种法兰零件智能对接方法,其特征在于,包括如下步骤:

S1、获取待对接法兰零件的点云图像,从点云图像中分离出两个法兰端面,进而分离得到两个法兰圆柱面;

S2、将两个法兰端面进行拟合,并拟合法兰端面边界圆,进而得到法兰端面圆心坐标和法矢量初值;

S3、根据法兰端面法矢量初值,将两个法兰圆柱面投影至已拟合法的兰端面上;根据法兰圆柱面与法兰端面圆心坐标的距离,对法兰圆柱面进行去噪;将投影、去噪后的法兰圆柱面进行拟合,进而计算得到最终圆心坐标和法矢量;

S4、根据最终圆心坐标和法矢量,移动待对接法兰零件,完成法兰零件智能对接;

获取待对接法兰零件的点云图像具体为:通过机械臂带动激光三维扫描仪对待对接法兰零件进行扫描,得到法兰零件的点云图像;

激光三维扫描仪的扫描路径根据如下步骤确定:

(1) 建立扫描路径规划目标函数 $P_I(d_j, \beta_j)$:

$$P_I(d_j, \beta_j) = \min \left(\sum_{k=1}^{n-1} \overline{p_k p_{k+1}} \right)$$

其中, $\overline{p_k p_{k+1}}$ 表示路径点 $p_k(d_{kj}, \beta_{kj})$ 与路径点 $p_{k+1}(d_{(k+1)j}, \beta_{(k+1)j})$ 连线的长度, n 为扫描路径上点的总个数;

(2) 确定约束条件:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{i1}(d_j, \beta_j) = \frac{1}{\tan \beta'_{ij}} (D_{max} \cos \beta'_{ij} + d_{jx}) + D_{max} \sin \beta'_{ij} + d_{jy} + R > 0 \\ f_{i2}(d_j, \beta_j) = \tan \left(\operatorname{atan} \frac{-1}{\tan \beta'_{ij}} - \operatorname{atan} \frac{7}{2} \right) (-u_{xi}) + u_{yi} + R < 0 \\ f_{i3}(d_j, \beta_j) = \frac{-1}{\tan \beta'_{ij}} (t - D_{max} \cos \beta'_{ij} + d_{jx}) + D_{max} \sin \beta'_{ij} + d_{jy} + r > 0 \\ f_{i4}(d_j, \beta_j) = \tan \left(\operatorname{atan} \frac{-1}{\tan \beta'_{ij}} + \operatorname{atan} \frac{7}{2} \right) (t - l_{xi}) + l_{yi} + r > 0 \\ f_{i5}(d_j, \beta_j) = \tan \left(\operatorname{atan} \frac{-1}{\tan \beta'_{ij}} - \operatorname{atan} \frac{7}{2} \right) (t - u_{xi}) + u_{yi} + R < 0 \\ f_{i6}(d_j, \beta_j) = \frac{-1}{\tan \beta'_{ij}} (t - D_{min} \cos \beta'_{ij} + d_{jx}) + D_{min} \cos \beta'_{ij} + d_{jy} + R < 0 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta'_{1j} = \pi - \beta_j \\ \beta'_{2j} = \frac{3}{2}\pi + \beta_j \\ u_{xi} = -\frac{sl}{2} \cos \left(\operatorname{atan} \frac{-1}{\tan \beta'_{ij}} \right) - D_{max} \cos \beta'_{ij} - d_{jx} \\ u_{yi} = -\frac{sl}{2} \sin \left(\operatorname{atan} \frac{-1}{\tan \beta'_{ij}} \right) - D_{max} \sin \beta'_{ij} - d_{jy} \\ l_{xi} = \frac{sl}{2} \cos \left(\operatorname{atan} \frac{-1}{\tan \beta'_{ij}} \right) + D_{max} \cos \beta'_{ij} + d_{jx} \\ l_{yi} = \frac{sl}{2} \sin \left(\operatorname{atan} \frac{-1}{\tan \beta'_{ij}} \right) + D_{max} \sin \beta'_{ij} + d_{jy} \end{array} \right.$$

其中, $i=1, 2$; $d_j(d_{jx}, d_{jy}, d_{jz})$ 为机械臂末端位置, $\beta_j(\beta_{jx}, \beta_{jy}, \beta_{jz})$ 为机械臂末端姿态, D_{max} 、 D_{min} 分别为激光三维扫描仪最远有效扫描范围和最近有效扫描范围, t 为法兰零件厚度, R 、 r 分别为法兰零件的直径和轴径, sl 为激光三维扫描仪最远有效扫描范围下的成像边长;

(3) 根据约束条件, 对扫描路径规划目标函数进行求解, 得到激光三维扫描仪的扫描路径。

2. 如权利要求1所述的法兰零件智能对接方法, 其特征在于, 所述步骤S1中, 根据曲率一致性从点云图像中分离出两个法兰端面, 再根据与法兰端面的空间距离关系分离出两个法兰圆柱面。

3. 如权利要求1或2所述的法兰零件智能对接方法, 其特征在于, 获取待对接法兰零件的点云图像后, 先根据点云的空间邻近度和曲率相似度对点云图像数据进行去噪处理, 然后再进行法兰端面分离。

4. 一种用于实现如权利要求1-3任一项所述的法兰零件智能对接方法的系统, 其特征在于, 包括图像采集装置、图像处理装置和运动控制装置, 其中:

所述图像采集装置用于采集待对接法兰零件的点云图像;

所述图像处理装置包括点云去噪模块、平面曲面分离模块、平面拟合模块和曲面拟合模块, 其中, 所述点云去噪模块用于对点云图像数据进行去噪处理, 所述平面曲面分离模块用于从去噪后的点云图像中分离出法兰端面和法兰圆柱面, 所述平面拟合模块用于对法兰端面进行拟合, 所述曲面拟合模块用于将法兰圆柱面投影到拟合的法兰端面上, 并拟合投影后的法兰圆柱面, 得到最终圆心坐标和法矢量;

所述运动控制装置用于根据最终圆心坐标和法矢量, 移动待对接法兰零件至目标位置。

5. 如权利要求4所述的系统, 其特征在于, 所述运动控制装置包括控制模块、六通道伺服驱动器和两套并联的三轴运动机构, 其中, 所述控制模块用于将最终圆心坐标和法矢量转化成所述三轴运动机构的运动量, 并基于该运动量生成位置速度控制信号; 所述六通道伺服驱动器用于根据位置速度控制信号控制所述三轴运动机构带动法兰零件运动至目标位置。

6. 如权利要求5所述的系统, 其特征在于, 所述运动控制装置还包括锁定模块, 所述锁

定模块设置在所述三轴运动机构的伺服电机中,用于在完成对接后,防止因外力导致伺服电机中电动缸的活塞杆缩回;所述运动控制装置采用绝对式编码器。

7.如权利要求4-6任一项所述的系统,其特征在于,还包括手动测量对接装置,该手动测量对接装置包括两组百分表,每组百分表按 180° 对称安装在待对接法兰零件上。

一种法兰零件智能对接方法及系统

技术领域

[0001] 本发明属于智能装配技术领域,更具体地,涉及一种法兰零件智能对接方法及系统。

背景技术

[0002] 船舶大型推进轴系的对接装配是船舶建造的重要环节之一,对于最终安装质量具有重要影响。近年来,对船舶大型推进轴系也有了更高的装配精度和装配自动化、智能化的要求。引入视觉测量系统可以高精度测量船舶轴系对接法兰的空间相对位置和姿态,引入伺服控制系统可以高精度快速调整船舶轴系的空间位置和姿态,进而可以满足更高精度的装配需求。

[0003] 目前船舶轴系的对接装配过程普遍采用人工吊装的方式,借用龙门吊来辅助人工精确定位,再通过百分表测量当前轴系的偏移曲折值,然后人工调整调节螺栓来精确控制轴系位置和姿态,以使轴系达到符合要求的安装精度。这种安装方式作业周期长,费时费力,存在安全隐患。

发明内容

[0004] 针对现有技术的以上缺陷或改进需求,本发明提供了一种法兰零件智能对接方法及系统,其目的在于,以法兰圆柱面在拟合平面上的投影圆拟合之后的圆心来描述准确的法兰位置,实现法兰零件空间位置和姿态的高精度识别定位和快速调整,提高对接装配工作的效率和精度。

[0005] 为实现上述目的,按照本发明的一方面,提出了一种法兰零件智能对接方法,包括如下步骤:

[0006] S1、获取待对接法兰零件的点云图像,从点云图像中分离出两个法兰端面,进而分离得到两个法兰圆柱面;

[0007] S2、将两个法兰端面进行拟合,并拟合法兰端面边界圆,进而得到法兰端面圆心坐标和法矢量初值;

[0008] S3、根据法兰端面法矢量初值,将两个法兰圆柱面投影至已拟合的法兰端面上;根据法兰圆柱面与法兰端面圆心坐标的距离,对法兰圆柱面进行去噪;将投影、去噪后的法兰圆柱面进行拟合,进而计算得到最终圆心坐标和法矢量;

[0009] S4、根据最终圆心坐标和法矢量,移动待对接法兰零件,完成法兰零件智能对接。

[0010] 作为进一步优选的,获取待对接法兰零件的点云图像具体为:通过机械臂带动激光三维扫描仪对待对接法兰零件进行扫描,得到法兰零件的点云图像。

[0011] 作为进一步优选的,激光三维扫描仪的扫描路径根据如下步骤确定:

[0012] (1) 建立扫描路径规划目标函数 $P_I(d_j, \beta_j)$:

$$[0013] \quad P_l(d_j, \beta_j) = \min\left(\sum_{k=1}^{n-1} \overline{p_k p_{k+1}}\right)$$

[0014] 其中, $\overline{p_k p_{k+1}}$ 表示路径点 $p_k(d_{kj}, \beta_{kj})$ 与路径点 $p_{k+1}(d_{(k+1)j}, \beta_{(k+1)j})$ 连线的长度, n 为扫描路径上点的总个数;

[0015] (2) 确定约束条件:

$$[0016] \quad \left\{ \begin{array}{l} f_{i1}(d_j, \beta_j) = \frac{1}{\tan\beta'_{ij}} (D_{max} \cos\beta'_{ij} + d_{jx}) + D_{max} \sin\beta'_{ij} + d_{jy} + R > 0 \\ f_{i2}(d_j, \beta_j) = \tan\left(\operatorname{atan}\frac{-1}{\tan\beta'_{ij}} - \operatorname{atan}\frac{7}{2}\right) (-u_{xi}) + u_{yi} + R < 0 \\ f_{i3}(d_j, \beta_j) = \frac{-1}{\tan\beta'_{ij}} (t - D_{max} \cos\beta'_{ij} + d_{jx}) + D_{max} \sin\beta'_{ij} + d_{jy} + r > 0 \\ f_{i4}(d_j, \beta_j) = \tan\left(\operatorname{atan}\frac{-1}{\tan\beta'_{ij}} + \operatorname{atan}\frac{7}{2}\right) (t - l_{xi}) + l_{yi} + r > 0 \\ f_{i5}(d_j, \beta_j) = \tan\left(\operatorname{atan}\frac{-1}{\tan\beta'_{ij}} - \operatorname{atan}\frac{7}{2}\right) (t - u_{xi}) + u_{yi} + R < 0 \\ f_{i6}(d_j, \beta_j) = \frac{-1}{\tan\beta'_{ij}} (t - D_{min} \cos\beta'_{ij} + d_{jx}) + D_{min} \cos\beta'_{ij} + d_{jy} + R < 0 \end{array} \right.$$

$$[0017] \quad \left\{ \begin{array}{l} \beta'_{1j} = \pi - \beta_j \\ \beta'_{2j} = \frac{3}{2}\pi + \beta_j \\ u_{xi} = -\frac{sl}{2} \cos\left(\operatorname{atan}\frac{-1}{\tan\beta'_{ij}}\right) - D_{max} \cos\beta'_{ij} - d_{jx} \\ u_{yi} = -\frac{sl}{2} \sin\left(\operatorname{atan}\frac{-1}{\tan\beta'_{ij}}\right) - D_{max} \sin\beta'_{ij} - d_{jy} \\ l_{xi} = \frac{sl}{2} \cos\left(\operatorname{atan}\frac{-1}{\tan\beta'_{ij}}\right) + D_{max} \cos\beta'_{ij} + d_{jx} \\ l_{yi} = \frac{sl}{2} \sin\left(\operatorname{atan}\frac{-1}{\tan\beta'_{ij}}\right) + D_{max} \sin\beta'_{ij} + d_{jy} \end{array} \right.$$

[0018] 其中, $i=1, 2$; $d_j(d_{jx}, d_{jy}, d_{jz})$ 为机械臂末端位置, $\beta_j(\beta_{jx}, \beta_{jy}, \beta_{jz})$ 为机械臂末端姿态, D_{max} 、 D_{min} 分别为激光三维扫描仪最远有效扫描范围和最近有效扫描范围, t 为法兰零件厚度, R 、 r 分别为法兰零件的直径和轴径, sl 为激光三维扫描仪最远有效扫描范围下的成像边长;

[0019] (3) 根据约束条件, 对扫描路径规划目标函数进行求解, 得到激光三维扫描仪的扫描路径。

[0020] 作为进一步优选的, 所述步骤S1中, 根据曲率一致性从点云图像中分离出两个法兰端面, 再根据与法兰端面的空间距离关系分离出两个法兰圆柱面。

[0021] 作为进一步优选的, 获取待对接法兰零件的点云图像后, 先根据点云的空间邻近度和曲率相似度对点云图像数据进行去噪处理, 然后再进行法兰端面分离。

[0022] 按照本发明的另一方面,提供了一种用于实现上述法兰零件智能对接方法的系统,包括图像采集装置、图像处理装置和运动控制装置,其中:

[0023] 所述图像采集装置用于采集待对接法兰零件的点云图像;

[0024] 所述图像处理装置包括点云去噪模块、平面曲面分离模块、平面拟合模块和曲面拟合模块,其中,所述点云去噪模块用于对点云图像数据进行去噪处理,所述平面曲面分离模块用于从去噪后的点云图像中分离出法兰端面和法兰圆柱面,所述平面拟合模块用于对法兰端面进行拟合,所述曲面拟合模块用于将法兰圆柱面投影到拟合的法兰端面上,并拟合投影后的法兰圆柱面,得到最终圆心坐标和法矢量;

[0025] 所述运动控制装置用于根据最终圆心坐标和法矢量,移动待对接法兰零件至目标位置。

[0026] 作为进一步优选的,所述运动控制装置包括控制模块、六通道伺服驱动器和两套并联的三轴运动机构,其中,所述控制模块用于将最终圆心坐标和法矢量转化成所述三轴运动机构的运动量,并基于该运动量生成位置速度控制信号;所述六通道伺服驱动器用于根据位置速度控制信号控制所述三轴运动机构带动法兰零件运动至目标位置。

[0027] 作为进一步优选的,所述运动控制装置还包括锁定模块,所述锁定模块设置在所述三轴运动机构的伺服电机中,用于在完成对接后,防止因外力导致伺服电机中电动缸的活塞杆缩回;所述运动控制装置采用绝对式编码器。

[0028] 作为进一步优选的,所述图像采集装置包括激光三维扫描仪,该激光三维扫描仪通过机械臂带动或直接手动操作。

[0029] 作为进一步优选的,还包括手动测量对接装置,该手动测量对接装置包括两组百分表,每组百分表按 180° 对称安装在待对接法兰零件上。

[0030] 总体而言,通过本发明所构思的以上技术方案与现有技术相比,主要具备以下的技术优点:

[0031] 1. 本发明针对法兰零件结构特性,由于端面边界圆的样本数量少,并且存在倒角,扫描时存在较大误差,所以不以端面边界圆圆心来描述对接法兰的位置,而以法兰圆柱面在拟合平面上的投影圆拟合之后的圆心来描述准确的法兰位置;本发明可以实现法兰零件空间位置和姿态的高精度识别定位和快速调整,极大地提高了对接装配工作的效率和精度,可以广泛应用于船舶、航空航天、管道运输等领域。

[0032] 2. 本发明采用无接触式视觉测量方式。基于双目视觉成像原理,通过所述手持式激光三维扫描仪对所述法兰零件进行扫描成像,准确测量所述法兰零件的空间位置和姿态,解决了目前人工测量精度差的问题。

[0033] 3. 本发明采用多约束路径规划技术。基于运动学分析方法,进行多约束路径规划,求解最优扫描路径,扫描时间可控制在7分钟内,解决了目前人工测量效率低的问题。

[0034] 4. 本发明采用多种工作模式以适用不同的工作环境和要求。系统具备自动扫描对接、手动扫描对接和手动测量对接三种功能:自动扫描对接功能可自动实现所述法兰零件的对接装配工作;手动扫描对接功能可用于当狭小工作环境下无法布置所述六轴机械臂时,实现所述法兰零件的对接装配工作;手动测量对接功能可用于当前工作环境无法使用所述手持式激光三维扫描仪或目标对象为不带法兰的圆柱形零部件的工作情境。

[0035] 5. 本发明采用伺服驱动控制方式。所述运动控制装置采用伺服驱动控制方式,控

制所述三轴运动机构运动,控制精度可达0.01mm,解决了目前人工吊装定位精度差、效率低的问题。

附图说明

- [0036] 图1为本发明实施例法兰零件智能对接系统结构示意图;
- [0037] 图2为本发明实施例法兰零件智能对接系统结构右视图;
- [0038] 图3为本发明实施例手动测量功能结构示意图;
- [0039] 图4为本发明实施例手动测量功能结构前视图;
- [0040] 图5为本发明实施例中各装置连接示意图;
- [0041] 图6为本发明实施例中图像采集装置模块示意图;
- [0042] 图7为本发明实施例中图像处理装置模块示意图;
- [0043] 图8为本发明实施例中运动控制装置模块示意图;
- [0044] 图9为本发明实施例法兰零件智能对接方法流程图。
- [0045] 在所有附图中,相同的附图标记用来表示相同的元件或结构,其中:
- [0046] 1-图像采集装置,2-图像处理装置,3-运动控制装置,4-百分表。

具体实施方式

[0047] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。此外,下面所描述的本发明各个实施方式中所涉及到的技术特征只要彼此之间未构成冲突就可以相互组合。

[0048] 本发明实施例提供一种法兰零件智能对接系统,如图1、图2和图5所示,包括图像采集装置1、图像处理装置2和运动控制装置3,其中:

[0049] 所述图像采集装置1设置于法兰零件的一侧,如图6所示,包括手持式激光三维扫描仪11和六轴机械臂12,其中,所述手持式激光三维扫描仪11包括激光发射器111和双目视觉传感器112,所述激光发射器111发射激光,照射在所述法兰零件表面,所述双目视觉传感器112捕捉反射回来的激光,以获取所述法兰零件的图像数据;所述手持式激光三维扫描仪11安装于所述六轴机械臂12末端夹具中,所述六轴机械臂12根据预编程序按照预定路径携带所述手持式激光三维扫描仪11对所述法兰零件进行扫描。

[0050] 所述图像处理装置2设置于主控制台内,与所述图像采集装置1连接,如图7所示,所述图像处理装置2包括依次连接的显示模块21、存储模块22、读取模块23、点云去噪模块24、平面曲面分离模块25、平面拟合模块26和曲面拟合模块27,其中:

[0051] 显示模块21用于实时显示所述图像数据;

[0052] 存储模块22用于按照STL文件格式存储图像数据至指定系统路径下;

[0053] 读取模块23用于从所述指定系统路径下读取所述图像数据;

[0054] 点云去噪模块24用于根据点云的空间邻近度和曲率相似度对所述图像数据进行去噪处理,得到去噪图像数据;具体的,其去噪滤波算法为:

[0055] $\hat{p}_i = p_i + \lambda n_i$

[0056] 其中, \hat{p}_i 为经双边滤波后得到的新点, p_i 为要处理的点云数据中的一点, n_i 为该点的法向量, λ 为双边滤波因子;

$$[0057] \quad \lambda = \frac{\sum W_c(\|p_j - p_i\|) W_s(\|\langle n_j, n_i \rangle\| - 1) \langle n_i, p_j - p_i \rangle}{\sum W_c(\|p_j - p_i\|) W_s(\|\langle n_j, n_i \rangle\| - 1)}$$

[0058] 其中, Σ 累加空间为 $p_j \in N_k(p_i)$, n_j 为点 p_i 的邻域点 p_j 的法矢量, W_c, W_s 分别为空间域权重函数和特征域权重函数。

[0059] 平面曲面分离模块25用于根据曲率一致性分离出所述去噪图像数据的法兰端面, 再根据与所述法兰端面的空间距离关系分离出法兰圆柱面。

[0060] 平面拟合模块26用于拟合所述法兰端面, 并拟合所述法兰端面边界圆, 初步计算所述法兰端面圆心坐标和法矢量; 具体的, 设定拟合平面方程为:

$$[0061] \quad ax + by + cz + d = 0$$

$$[0062] \quad \text{式中, } a^2 + b^2 + c^2 = 1;$$

[0063] 根据法兰端面点云数据的空间坐标, 可求得点云平均坐标 $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$, 有

$$[0064] \quad a\bar{x} + b\bar{y} + c\bar{z} + d = 0$$

[0065] 与拟合平面方程相减, 可得:

$$[0066] \quad a(x - \bar{x}) + b(y - \bar{y}) + c(z - \bar{z}) = 0$$

[0067] 根据拟合平面与所有点的距离之和最小, 令

$$A = \begin{bmatrix} x_1 - \bar{x} & y_1 - \bar{y} & z_1 - \bar{z} \\ x_2 - \bar{x} & y_2 - \bar{y} & z_2 - \bar{z} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_n - \bar{x} & y_n - \bar{y} & z_n - \bar{z} \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix}, \text{即目标函数}$$

$$[0068] \quad \min(f(a, b, c)) = \min(\|AX\|)$$

[0069] 对A进行奇异值分解, 得

$$[0070] \quad A = UDV^T$$

[0071] 式中, U为 $n \times n$ 的正交矩阵, D为 $n \times 3$ 的对角矩阵, V为 3×3 的正交矩阵;

[0072] 因此, $\|AX\| = \|UDV^T X\| = \|DV^T X\|$, 其中 $\|V^T X\| = \|X\| = 1$; 当且仅当X满足下式时,

$$[0073] \quad V^T X = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

[0074] $\|AX\|$ 取最小值, 从而得到a、b、c的值, 代入下式:

$$[0075] \quad a\bar{x} + b\bar{y} + c\bar{z} + d = 0$$

[0076] 即可求得d的值, 即得到拟合平面方程。

[0077] 曲面拟合模块27与所述平面拟合模块26和所述平面曲面分离模块25连接, 用于根据法兰端面法矢量初值, 确定法兰圆柱面的投影方向, 将两个法兰圆柱面投影至已拟合的法兰端面上; 根据法兰圆柱面与法兰端面圆心坐标的距离, 将法兰圆柱面内距离小于阈值的点去除, 从而对法兰圆柱面进行去噪; 将投影、去噪后的法兰圆柱面进行拟合, 进而计算得到最终圆心坐标和法矢量; 具体的, 拟合法兰圆柱面时, 设定拟合圆方程为:

[0078] $(x-x_c)^2+(y-y_c)^2=R^2$

[0079] 令 $x'_c=-2x_c, y'_c=-2y_c, R'=x_c^2+y_c^2-R^2$, 可得:

[0080] $x^2+y^2+x'_c x+y'_c y+R'=0$

[0081] 投影点到圆心的距离平方与半径平方的差为

[0082] $\delta_i = x_i^2 + y_i^2 + x'_c x_i + y'_c y_i + R'$

[0083] 根据该差值的平方和最小原则, 则目标函数

[0084]
$$\min(g(x'_c, y'_c, R')) = \min\left(\sum_{i=1}^n \delta_i^2\right)$$

[0085] 当 $\frac{\partial g}{\partial x'_c} = \frac{\partial g}{\partial y'_c} = \frac{\partial g}{\partial R'} = 0$ 时, $g(x'_c, y'_c, R')$ 取最小值; 从而得到 x'_c, y'_c, R' 的值, 进而得到 x_c, y_c, R 的值, 即得到拟合圆方程。

[0086] 所述运动控制装置3与所述图像处理装置2连接, 如图8所示, 其包括控制模块31, 六通道伺服驱动器32和两套并联的三轴运动机构33, 其中, 所述控制模块31与所述图像处理装置2连接, 用于将两个所述法兰端面的圆心坐标和法矢量转化成所述三轴运动机构33的XY轴移动平台和电动缸的运动量, 并基于所述运动量生成位置速度控制信号传输给所述六通道伺服驱动器32, 所述六通道伺服驱动器32控制伺服电机转动, 进而带动所述法兰零件运动至目标位置, 完成对接工作。

[0087] 进一步的, 所述法兰零件表面按4cm~7cm间隔贴有标记点, 所述图像采集装置1包括标记点扫描13和激光扫描14两个图像采集过程, 其中, 标记点扫描13用于确定标记点的空间位置和姿态, 经标记点优化后, 提高标记点空间位置和姿态的定位精度; 激光扫描14用于获取所述法兰零件的点云数据, 便于后续的特征提取。

[0088] 进一步的, 所述图像处理装置2还包括坐标系转换模块28, 用于所述三维扫描仪11内部坐标系和所述三轴运动机构33坐标系之间的转换, 将两个所述法兰端面在所述三维扫描仪11内部坐标系下的圆心坐标和法矢量转换成在所述三轴运动机构33坐标系下圆心坐标和法矢量, 进而得到两个所述法兰端面的相对位置和姿态。

[0089] 进一步的, 所述运动控制装置3还包括主控制台, 主控制台上设置有图形工作站, 该图形工作站有线连接所述手持式激光三维扫描仪11, 接收图像数据并实时生成和显示图像; 图形工作站有线连接所述六轴机械臂12的手控设备, 传输启停指令; 图形工作站有线连接所述六通道伺服驱动器32, 发送控制指令和接收当前所述法兰零件位置姿态信息所述图形工作站无线连接遥控手柄, 接收控制指令。

[0090] 进一步的, 所述运动控制装置3还包括伺服电机锁定模块34, 用于当所述法兰零件对接工作完成后, 装配过程中需要系统长时间停机, 防止电动缸因外力导致的活塞杆缩回。

[0091] 进一步的, 所述运动控制装置3采用绝对式编码器, 具有掉电保持功能, 每次系统重新开机时, 无需重新测量初始位置。

[0092] 进一步的, 还包括手动扫描对接和手动测量对接功能, 其中, 所述手动扫描对接以人手代替所述六轴机械臂12, 携带所述手持式激光三维扫描仪11对所述法兰零件进行扫描; 所述手动测量对接以两组按180°对称分布的百分表4测量所述法兰零件的相对位置和

姿态,来代替所述手持式激光三维扫描仪11的图像识别定位,如图3和图4所示。

[0093] 采用上述法兰零件智能对接系统进行法兰对接时,如图9所示,包括以下步骤:

[0094] 1) 根据装配环境和安装要求合理布局系统各部件,做好对接装配前的准备工作;

[0095] 2) 插上电源,启动程序,通过测量提供三组参数,第一组参数为所述XY轴移动平台和所述电动缸的初始位移量;第二组参数为所述三轴运动机构33的底座距和高低差;第三组参数为所述法兰零件标准法兰所处位置、法兰直径、标准法兰轴径、对接法兰轴径以及标准法兰与对接法兰厚度之和,将这三组参数输入到所述图形工作站中;

[0096] 3) 使用所述遥控手柄将所述法兰零件粗调至目标对接装配位置附近,调节所述法兰零件的周向位置,直至对齐所有法兰孔;

[0097] 4) 通过主控制台上的主控界面启动六轴机械臂12,待所述六轴机械臂12运动至初始扫描位置时,启动所述手持式激光三维扫描仪11,所述六轴机械臂12按预定路径携带所述手持式激光三维扫描仪11对所述法兰零件进行扫描;也可由操作人员按照操作规程手持所述手持式激光三维扫描仪11对所述法兰零件进行扫描;也可由操作人员通过两组按180°对称分布的百分表4测量所述法兰零部件的相对位置和姿态;其中,前两种测量方式扫描完成之后,经由图像处理算法,可计算出所述法兰零件的空间相对位置和姿态;

[0098] 5) 通过所述主控制台上的主控界面发出自动对接指令,所述三轴运动机构33即可带动所述法兰零件运动至目标位置,完成对接工作;

[0099] 6) 安装好所述法兰零件紧固螺栓之后,使用所述遥控手柄控制所述三轴运动机构33脱离所述法兰零件,关闭程序,关闭电源。

[0100] 进一步的,基于运动学分析方法,针对所述六轴机械臂12的安装位置、所述手持式激光三维扫描仪11与所述法兰零件表面的距离、所述六轴机械臂12和所述手持式激光三维扫描仪11与所述法兰零件的防碰撞需求等约束条件,以关节角度、角速度为自变量,建立机械臂运动学方程,求解最优扫描路径,提高图像扫描效率。具体包括:

[0101] (1) 建立扫描路径规划目标函数 $P_I(d_j, \beta_j)$:

$$[0102] \quad P_I(d_j, \beta_j) = \min\left(\sum_{k=1}^{n-1} \overline{p_k p_{k+1}}\right)$$

[0103] 其中, $\overline{p_k p_{k+1}}$ 表示路径点 $p_k(d_{kj}, \beta_{kj})$ 与路径点 $p_{k+1}(d_{(k+1)j}, \beta_{(k+1)j})$ 连线的长度, n 为扫描路径上点的总个数;

[0104] (2) 确定约束条件 $f_{i1}(d_j, \beta_j) \sim f_{i6}(d_j, \beta_j)$:

$$[0105] \left\{ \begin{array}{l} f_{i1}(d_j, \beta_j) = \frac{1}{\tan\beta'_{ij}} (D_{max} \cos\beta'_{ij} + d_{jx}) + D_{max} \sin\beta'_{ij} + d_{jy} + R > 0 \\ f_{i2}(d_j, \beta_j) = \tan\left(\operatorname{atan}\frac{-1}{\tan\beta'_{ij}} - \operatorname{atan}\frac{7}{2}\right) (-u_{xi}) + u_{yi} + R < 0 \\ f_{i3}(d_j, \beta_j) = \frac{-1}{\tan\beta'_{ij}} (t - D_{max} \cos\beta'_{ij} + d_{jx}) + D_{max} \sin\beta'_{ij} + d_{jy} + r > 0 \\ f_{i4}(d_j, \beta_j) = \tan\left(\operatorname{atan}\frac{-1}{\tan\beta'_{ij}} + \operatorname{atan}\frac{7}{2}\right) (t - l_{xi}) + l_{yi} + r > 0 \\ f_{i5}(d_j, \beta_j) = \tan\left(\operatorname{atan}\frac{-1}{\tan\beta'_{ij}} - \operatorname{atan}\frac{7}{2}\right) (t - u_{xi}) + u_{yi} + R < 0 \\ f_{i6}(d_j, \beta_j) = \frac{-1}{\tan\beta'_{ij}} (t - D_{min} \cos\beta'_{ij} + d_{jx}) + D_{min} \cos\beta'_{ij} + d_{jy} + R < 0 \end{array} \right.$$

[0106] 其中, $i=1,2$; $d_j(d_{jx}, d_{jy}, d_{jz})$ 为机械臂末端位置, $\beta_j(\beta_{jx}, \beta_{jy}, \beta_{jz})$ 为机械臂末端姿态, D_{max} 、 D_{min} 分别为激光三维扫描仪最远有效扫描范围和最近有效扫描范围, t 为法兰零件厚度, R 、 r 分别为法兰零件的直径和轴径; 且有:

$$[0107] \left\{ \begin{array}{l} \beta'_{1j} = \pi - \beta_j \\ \beta'_{2j} = \frac{3}{2}\pi + \beta_j \\ u_{xi} = -\frac{sl}{2} \cos\left(\operatorname{atan}\frac{-1}{\tan\beta'_{ij}}\right) - D_{max} \cos\beta'_{ij} - d_{jx} \\ u_{yi} = -\frac{sl}{2} \sin\left(\operatorname{atan}\frac{-1}{\tan\beta'_{ij}}\right) - D_{max} \sin\beta'_{ij} - d_{jy} \\ l_{xi} = \frac{sl}{2} \cos\left(\operatorname{atan}\frac{-1}{\tan\beta'_{ij}}\right) + D_{max} \cos\beta'_{ij} + d_{jx} \\ l_{yi} = \frac{sl}{2} \sin\left(\operatorname{atan}\frac{-1}{\tan\beta'_{ij}}\right) + D_{max} \sin\beta'_{ij} + d_{jy} \end{array} \right.$$

[0108] 其中, sl 为激光三维扫描仪最远有效扫描范围下的成像边长;

[0109] (3) 根据约束条件, 对扫描路径规划目标函数进行求解, 得到激光三维扫描仪的扫描路径。

[0110] 进一步的, 考虑到所述六轴机械臂12末端的运动空间以及所述六轴机械臂12和所述手持式激光三维扫描仪11与所述法兰零件的防碰撞需求, 扫描得到的是所述法兰零件残缺的部分图像数据。

[0111] 本发明提出的系统和方法适用于法兰零件, 即两个平面在周边使用螺栓连接, 同时封闭的连接零件, 此外, 也适用于带有法兰并可以进行法兰连接的零部件称为法兰类零部件。

[0112] 本领域的技术人员容易理解, 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已, 并不用以限制本发明, 凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等, 均应包含在本发明的保护范围之内。

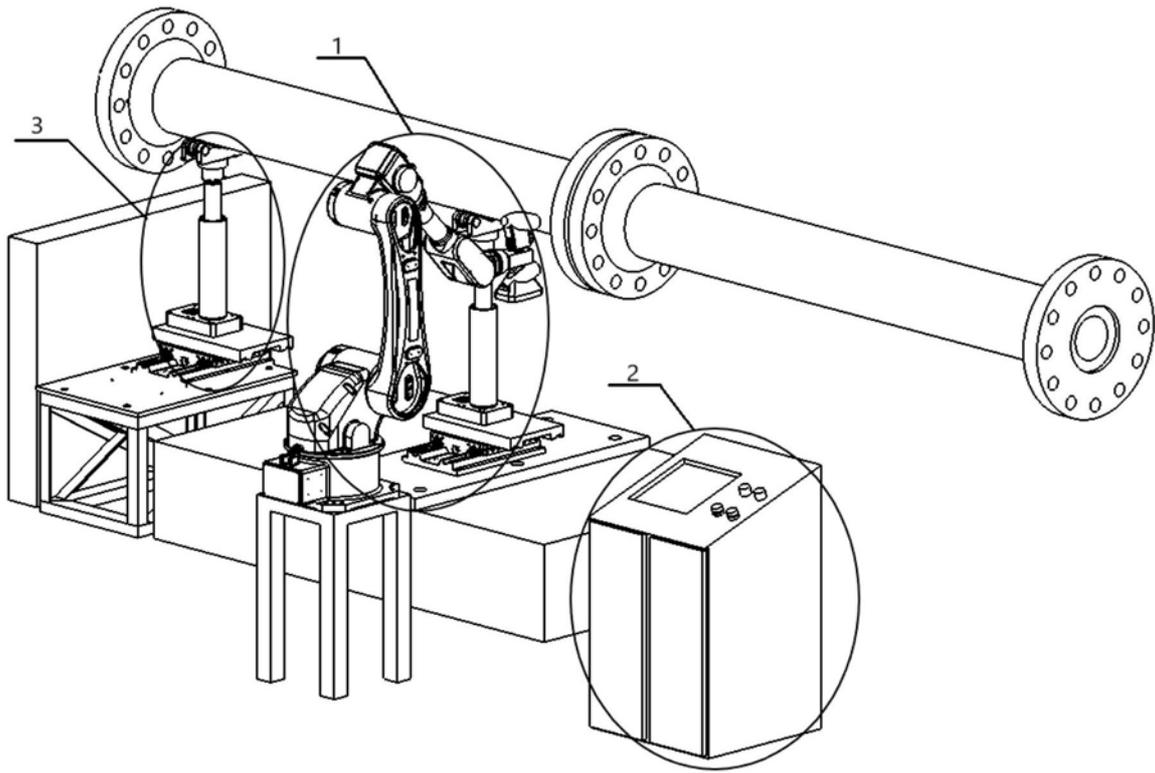


图1

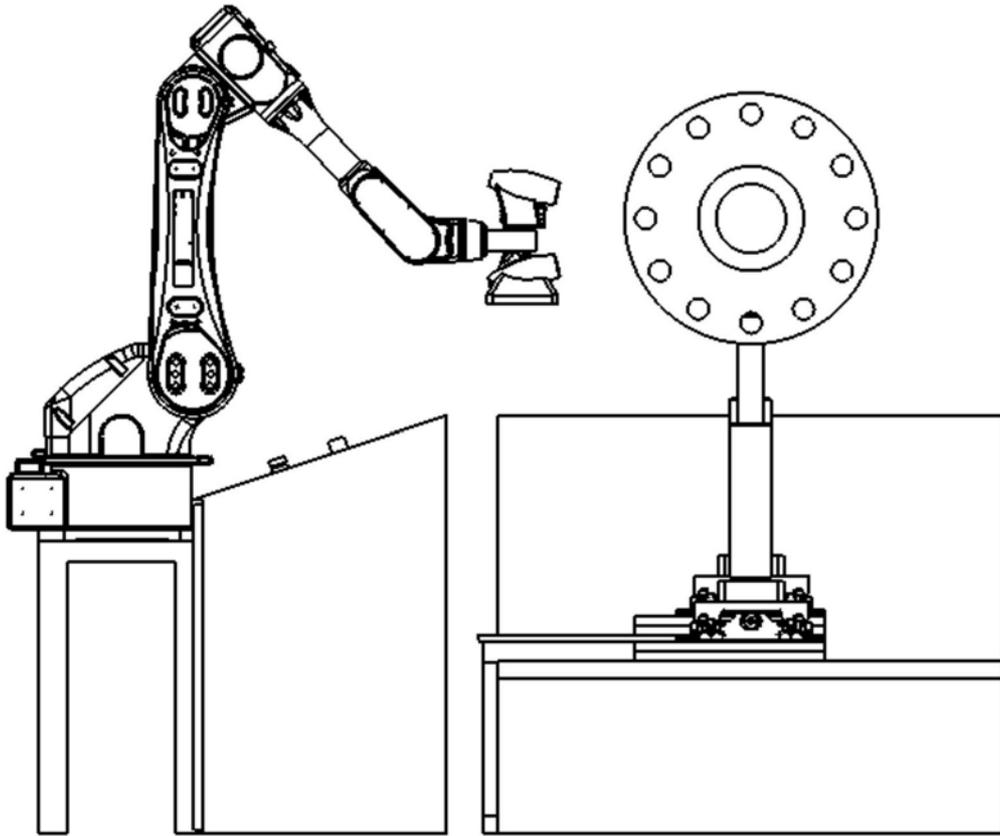


图2

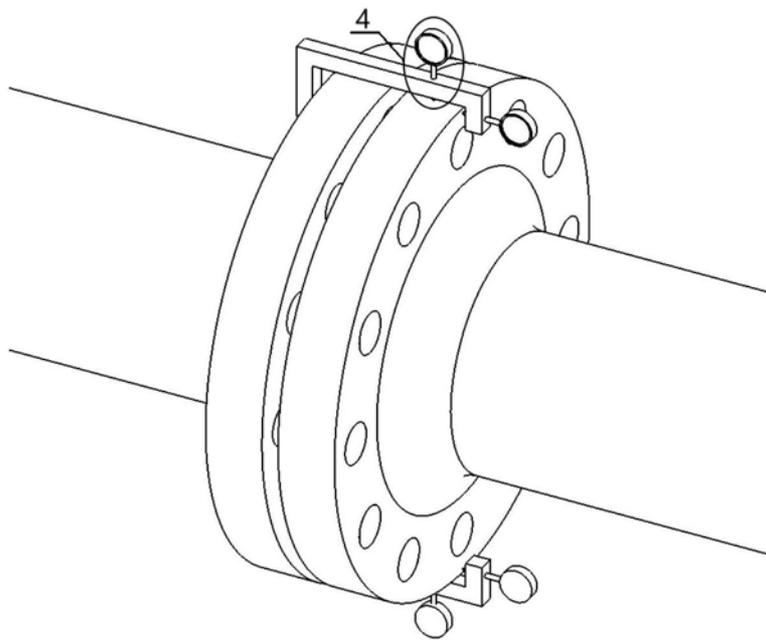


图3

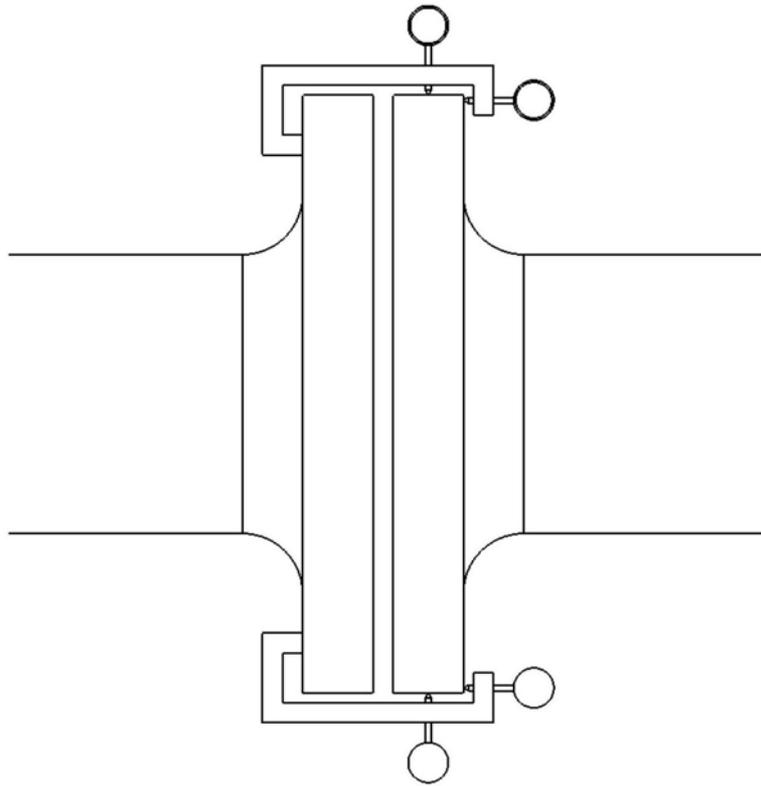


图4

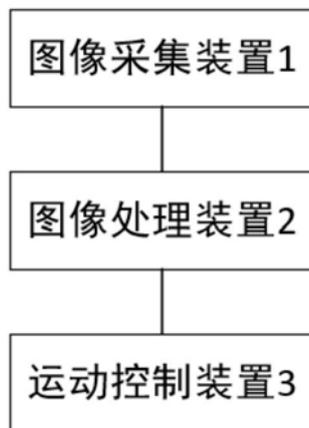


图5

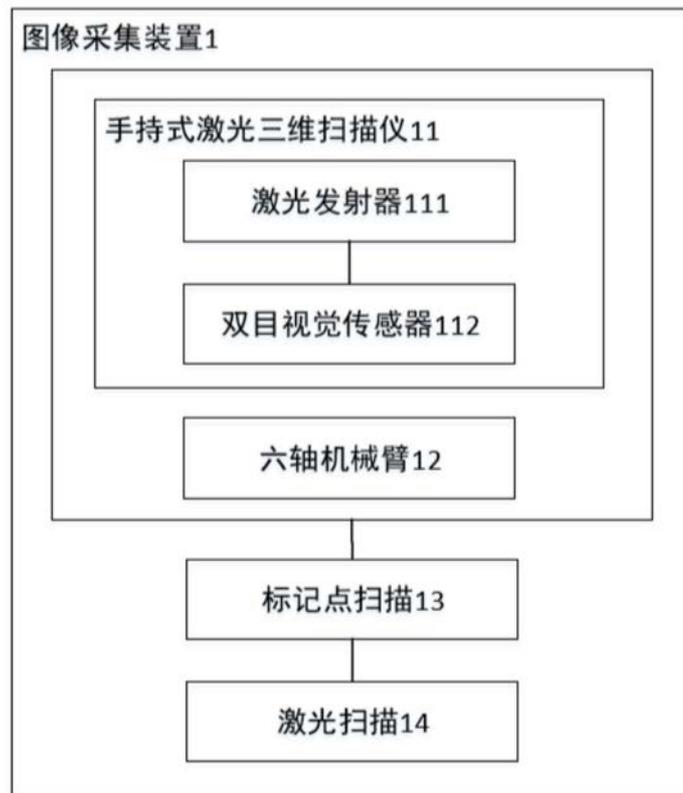


图6

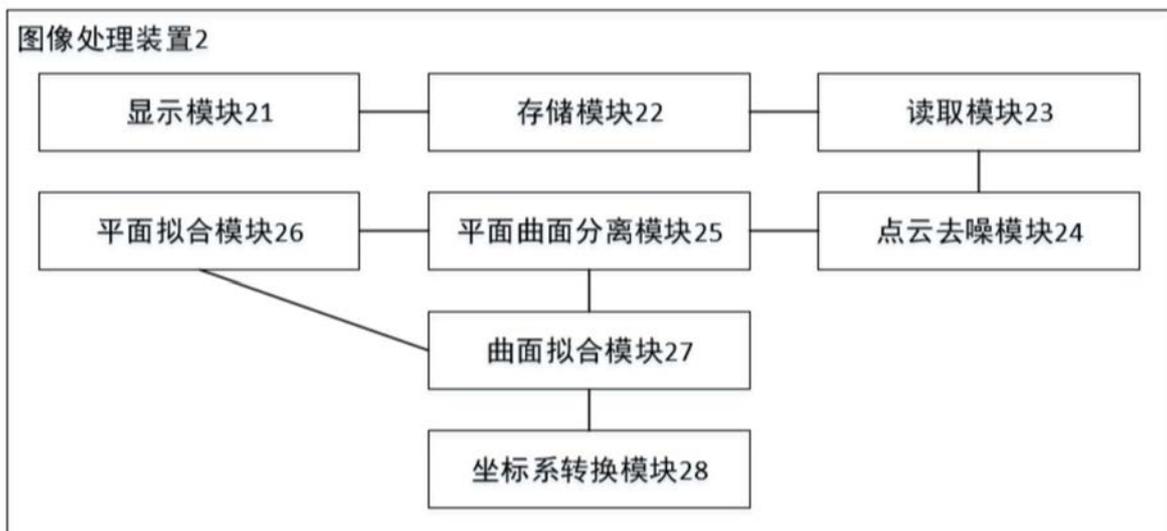


图7

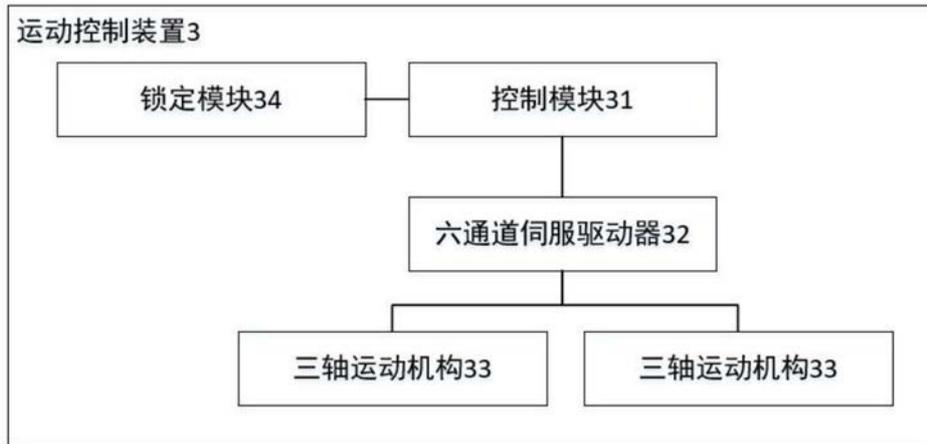


图8

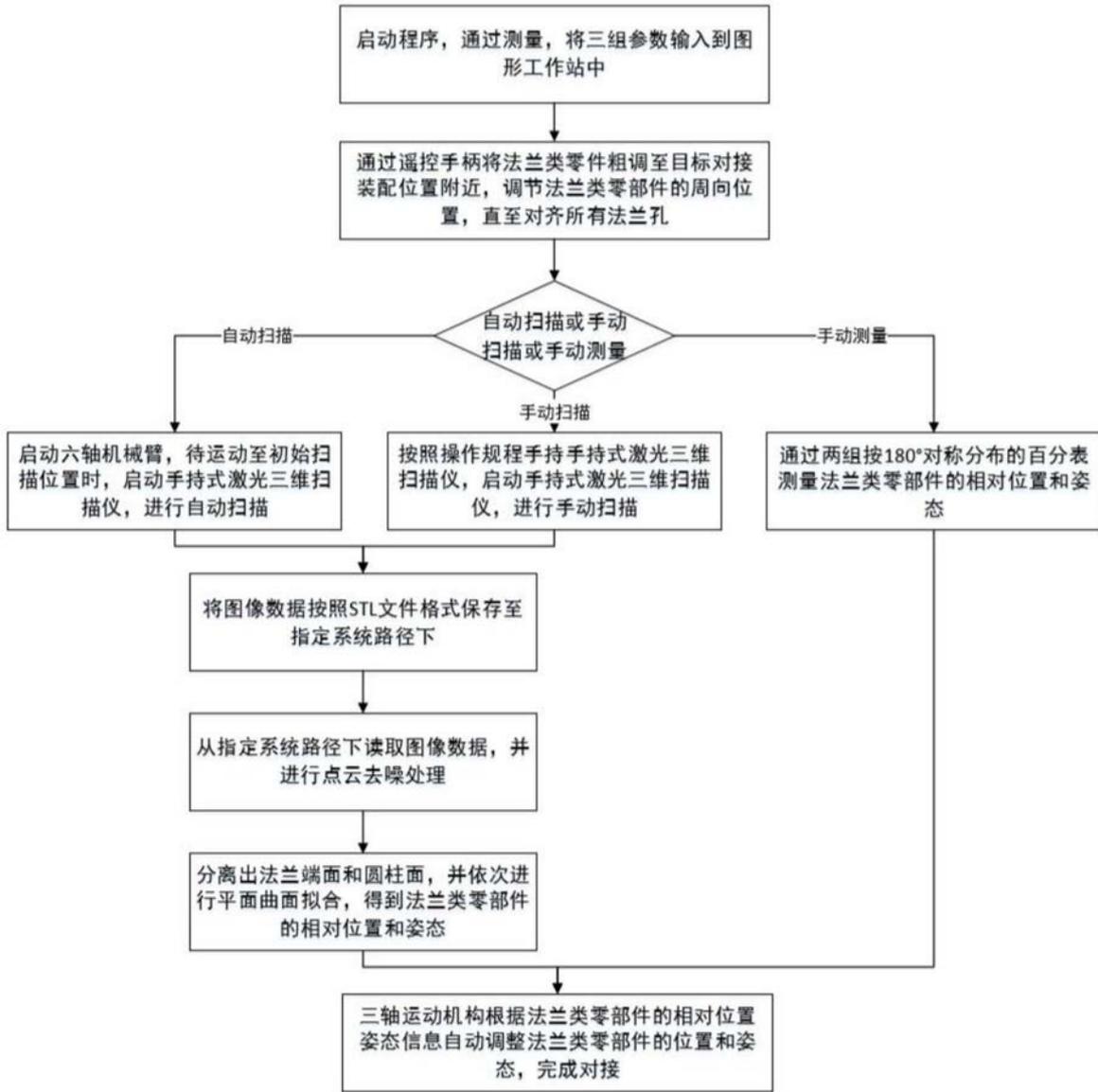


图9