



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109760045 A

(43)申请公布日 2019.05.17

(21)申请号 201811610540.6

(22)申请日 2018.12.27

(71)申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市碑林区咸宁西路28号

(72)发明人 吕红强 郝乐乐 韩九强 郑辑光

(74)专利代理机构 西安智大知识产权代理事务所 61215

代理人 段俊涛

(51) Int. Cl.

B25J 9/16(2006.01)

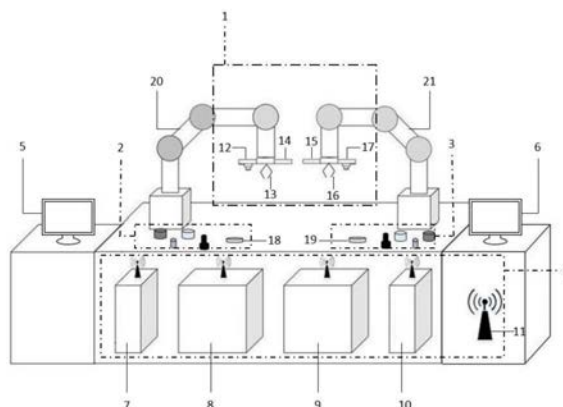
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

一种离线编程轨迹生成方法及基于该方法的双机器人协同装配系统

(57)摘要

一种离线编程轨迹生成方法及基于该方法的双机器人协同装配系统,系统包括具备视觉单元的双机器人工件装配区、计算机以及用于通信的无线模块。启动双机器人协同装配系统,触发视觉单元采集待装配工件图像,两台计算机通过运行离线编程软件使用轨迹生成方法得到工件装配所需轨迹以及轨迹所对应的代码。通过运行代码,两台机器人在相互通信的状态下既可以完成单机独立装配工作,又可以完成双机协同装配工作。本发明能够安全稳定地实现基于离线编程软件环境下双机器人协同装配工作的仿真与实际装配过程,整个装配过程安全可靠,精度高,鲁棒性强,适应多种类型工件的装配环境,能够满足双机器人协同装配的应用需求。



1. 一种离线编程轨迹生成方法,包括STEP模型重建方法和轨迹生成方法,其特征在于,具体步骤如下:

STEP模型文件读取,以读字符串的形式逐行读取STEP模型文件信息,选择适用于文件数据段语句结构的字符分割算法对每行字符串所代表的信息进行分类整理并保存到计算机内存中;

几何信息与拓扑数据提取,提取每行字符串所描述的实体实例信息,对关键词进行比较,获得EXPRESS语言描述的模型几何信息与拓扑数据;

模型重建,利用提取到的STEP模型几何信息和拓扑数据来生成OCC (OpenCASCADE) 中相应的模型并显示在计算机离线编程软件中;

轨迹生成,通过在工件OCC模型上拾取点的形式来定义抓取点与放置点,利用等参数插补算法在抓取点与放置点之间生成一系列的插补点,最终所有点就构成了机器人的装配工作轨迹。

2. 根据权利要求1所述离线编程轨迹生成方法,其特征在于,针对以字符串形式保存的STEP模型文件通过逐行读取的形式提取其有效信息并保存在计算机内存中,根据STEP文件格式选择相应的字符分割算法对每行字符串进行分割,从而提取其中的有效实体信息,具体操作是:从STEP文件的数据段开始,针对每行字符串,提取“#”与“=”之间的数字用来表示实体号,提取“=”与“(”之间的字符串用来表示实体的类型,提取“(”与“,”之间的字符串用来表示实体的名称,将“(”与“)”中第一个“,”之后的字符串通过“,”进行分割而得到的每个字符串用来表示实体的参数,对于每个实体的实体号、实体类型、实体名称以及参数信息都是以结构体的形式进行存储,这些结构体也就组成了STEP模型在内存中的信息。

3. 根据权利要求1所述离线编程轨迹生成方法,其特征在于,所述提取几何信息即通过STEP AP203协议中的几何实体来表示STEP模型文件的几何信息,具体操作是:采用参数曲线和参数曲面的方式来统一描述实体中的几何信息,所述提取拓扑数据即通过STEP AP203协议中的拓扑实体来表示STEP模型文件中的拓扑数据,具体操作是:采用由低到高的层次关系在STEP AP203协议下表示模型的拓扑数据。

4. 根据权利要求1所述离线编程轨迹生成方法,其特征在于,根据STEP文件中的实体信息来创建与其相对应的OCC对象,针对每个实体结构体,根据其类型,查询STEP实体与OCC对象之间的映射关系,通过OCC中的相关函数来创建相对应的OCC对象并且利用实体参数对对象进行初始化;如果存在某个实体是另外一个实体的参数,则将这个实体创建成具有参数属性的OCC对象并对其进行初始化;为避免重复初始化OCC对象,选用map的数据结构来保存初始化数据;OCC中StepToGeom类包含了将STEP几何实体转化为OCC几何对象的方法,StepToTopoDS包提供了将STEP拓扑实体转化为OCC拓扑shape的方法;利用上述方法,迅速创建与实体信息相对应的OCC对象。

5. 根据权利要求1所述离线编程轨迹生成方法,其特征在于,通过拾取待装配工件OCC模型上的点来定义工件的抓取点与放置点,抓取点与放置点之间的中间轨迹点则利用轨迹生成算法来实现,具体操作是:将抓取点与放置点之间的轨迹划分成多个直线段,针对每个直线段采用等参数插补算法实现中间轨迹点的生成,结合之前定义的抓取点与放置点一起构成机器人的装配轨迹。

6. 基于权利要求1所述离线编程轨迹生成方法的双机器人协同装配系统,包括双机器

人协同工件装配区(1)、单机器人独立工件装配区(2、3)、机器人控制区(4)、显示屏(5、6),其中:

双机器人协同工件装配区(1)包括两台相向工作的工业机器人(20、21),在两台工业机器人(20、21)的末端分别安装有夹爪(13、16)、视觉采集单元(12、17)以及装配体放置拖盘(14、15);

单机器人独立工件装配区(2、3)包括放置在工作台的待装配工件以及固定在工作台的装配体放置底座(18、19);

机器人控制区(4)包括计算机(7、10)和机器人控制柜(8、9)以及无线模块(11),其中无线模块(11)承担机器人控制柜(8、9)和计算机(5、6)之间以及两台计算机(5、6)之间的通信;

利用视觉采集单元(12、17)采集待装配工件的图片,得到待装配工件的摆放角度信息,在计算机(7、10)中运行所述离线编程轨迹生成方法,控制机器人(20、21)的运动轨迹。

7. 根据权利要求6所述双机器人协同装配系统,其特征在于,通过物联网技术,计算机(7、10)之间以及计算机(7、10)与机器人控制柜(8、9)之间组成了以无线路由器为中心的星型局域网,局域网中各个节点均通过无线路由器转发完成整个系统的通信,其中,指令是以“#”作为起始符,以“/”作为终止符的字符串,若一次性发送多条指令,则指令之间需以“+”相隔,当服务器或者客户端接收到消息,首先会遍历字符串,如果发现起始符和终止符不完整,则说明不是完整命令,对其进行丢弃等待重新接收;若命令完整,则以“+”分隔符对字符串进行分割,得到多个子字符串,根据每个字符串对应的命令类型选择不同的处理模块,并采用基于消息响应的异步机制作为消息处理机制,同时采用互斥锁的方法来防止多个线程对消息处理模块同时进行访问。

8. 根据权利要求6所述双机器人协同装配系统,其特征在于,当双机器人协同装配过程中出现故障时,两台机器人(20、21)均能够切换到单机模式在单机器人独立工件装配区(2、3)进行单独智能装配。

9. 根据权利要求6所述双机器人协同装配系统的运行方法,其特征在于,两台机器人分别使用所述离线编程轨迹生成方法,完成实际环境中的双机器人协同装配工作,具体包括如下步骤:

步骤1:启动双机器人协同装配系统;

步骤2:触发视觉采集单元(12、17),采集待装配工件的图片,对于装配时需要拧合的工件,利用其图像信息计算出装配过程中机器人末端需要旋转的角度;

步骤3:利用三点校准法测量装配区工件的坐标信息并将各个工件所对应的校准数据存储于计算机内存中;

步骤4:在计算机(7、10)中运行离线编程软件,导入机器人及装配工件的相关模型并对各个模型进行校准,结合步骤2的角度计算结果,进行两台机器人独自工件装配和协同工件装配的仿真、碰撞检测以及轨迹生成,等待所需轨迹生成后进入步骤5;

步骤5:通过离线编程软件中的后置代码转换功能,将仿真环境中生成的轨迹转化成可执行代码并导入机器人控制柜(8、9)中等待执行;

步骤6:设置两台机器人(20、21)处于在线模式,运行步骤5导入的可执行代码;

步骤7:待装配工作完毕,关闭双机器人协同装配系统。

一种离线编程轨迹生成方法及基于该方法的双机器人协同装配系统

技术领域

[0001] 本发明属于智能制造与机器人技术领域,特别涉及一种离线编程轨迹生成方法及基于该方法的双机器人协同装配系统。

背景技术

[0002] 随着中国制造业的快速发展,自动化技术得到了广泛的应用,工业机器人也扮演着越来越重要的角色。单个机器人因为其自身的一些局限性,往往无法完成较为复杂的工作任务。双工业机器人具有适应性强、灵活性好的优点,是实现智能制造的有效途径。然而,双工业机器人的协同路径规划、协同位置校准和路径误差补偿等问题是机器人在工业环境中应用与推广过程中急需解决的关键技术问题。同时,随着生产工艺要求的不断提高,对于工业机器人的加工轨迹精度要求也在不断提高。传统的示教方式由于自身操作复杂,效率低下的特点已经无法适用于目前工业机器人的操作需求。现有的离线编程软件由于缺少视觉处理单元,工件校准过程中引入的人为误差无法避免。同时,对于带有角度拧合的装配动作现有的离线编程技术也需要结合示教确定旋转角度才能完成,没有实现完全意义上的离线编程。

发明内容

[0003] 为了克服上述现有技术的缺点,本发明的目的在于提供一种离线编程轨迹生成方法及基于该方法的双机器人协同装配系统、方法,通过离线编程轨迹生成方法,引入视觉误差补偿信息与视觉角度识别信息,不仅可以实现单机器人的工作轨迹生成,还可以实现多机器人的协同轨迹生成工作,具有一键生成和动态规划的功能,而且在不同的加工任务下具有鲁棒性好,误差小,效率高的优点。双机器人协同装配系统是结合离线编程轨迹生成方法与视觉处理单元的协同装配系统,可作为智能自动化系统的模型系统进行深入研究,充分体现了工业机器人协同作业的概念以及工业机器人代替人工作业的概念,可扩展性强,为进一步研究群工业机器人智能自动化系统提供了基础。

[0004] 为了实现上述目的,本发明采用的技术方案是:

[0005] 一种离线编程轨迹生成方法,包括STEP模型重建算法和轨迹生成算法,其特征在于,所述离线编程轨迹生成方法包括如下步骤:

[0006] STEP模型文件读取,以读字符串的形式逐行读取STEP模型文件信息,选择适用于文件数据段语句结构的字符分割算法对每行字符串所代表的信息进行分类整理并保存到计算机内存中。

[0007] 几何信息与拓扑数据提取,提取每行字符串所描述的实体实例信息,对关键词进行比较,获得EXPRESS语言描述的模型几何信息与拓扑数据。

[0008] 模型重建,利用提取到的STEP模型几何信息和拓扑数据来生成OCC (OpenCASCADE)中相应的模型并显示在计算机离线编程软件中。

[0009] 轨迹生成,通过在工件OCC模型上拾取点的形式来定义抓取点与放置点,利用等参数插补算法在抓取点与放置点之间生成一系列的插补点,最终所有点就构成了机器人的装配工作轨迹。

[0010] 所述STEP模型文件读取就是针对以字符串形式保存的STEP模型文件通过逐行读取的形式提取其有效信息并保存在计算机内存中,根据STEP文件格式选择相应的字符分割算法对每行字符串进行分割,提取其中的有效实体信息。具体操作是,从STEP文件的数据段开始,针对每行字符串,提取“#”与“=”之间的数字用来表示实体号,提取“=”与“(”之间的字符串用来表示实体的类型,提取“(”与“,”之间的字符串用来表示实体的名称,将“(”与“)”中第一个“,”之后的字符串通过“,”进行分割而得到的每个字符串用来表示实体的参数。对于每个实体的实体号、实体类型、实体名称以及参数信息都是以结构体的形式进行存储,这些结构体也就组成了STEP模型在内存中的信息。如#206=DIRECTION(,(0.E+000,0.E+000,-1.))在经过字符分割之后得出其含义为一个实体号是206的实体方向(0,0,-1)。

[0011] 所述提取几何信息就是通过STEP AP203协议中的几何实体来表示STEP模型文件的几何信息。具体操作是,采用参数曲线和参数曲面的方式来统一描述实体中的几何信息。一般的,采用B样条实体表示方法就可以准确描述所有几何信息。提取拓扑数据就是通过STEP AP203协议中的拓扑实体来表示STEP模型文件中的拓扑数据。具体操作就是,采用由低到高的层次关系在STEP AP203协议下表示模型的拓扑数据。

[0012] 所述模型重建就是根据STEP文件中的实体信息来创建与其相对应的OCC对象。针对每个实体结构体,根据其类型,查询STEP实体与OCC对象之间的映射关系,通过OCC中的相关函数来创建相对应的OCC对象并且利用实体参数对对象进行初始化。如果存在某个实体是另外一个实体的参数,则需要将这个实体创建成具有参数属性的OCC对象并对其进行初始化。为了避免重复初始化OCC对象,选用map的数据结构来保存初始化数据。OCC中StepToGeom类包含了将STEP几何实体转化为OCC几何对象的方法,StepToTopoDS包提供了将STEP拓扑实体转化为OCC拓扑shape的方法。利用上述方法,就可以迅速创建与实体信息相对应的OCC对象。

[0013] 所述轨迹生成就是通过拾取待装配工件OCC模型上的点来定义工件的抓取点与放置点。抓取点与放置点之间的中间轨迹点则需要利用轨迹生成算法来实现。具体操作是,将抓取点与放置点之间的轨迹划分成多个直线段,针对每个直线段采用等参数插补算法实现中间轨迹点的生成,结合之前定义的抓取点与放置点一起构成机器人的装配轨迹。

[0014] 所述基于离线编程轨迹生成方法的双机器人协同装配系统,包括双机器人协同工件装配区1、单机器人独立工件装配区2、3、机器人控制区4、显示屏5、6,其中:

[0015] 双机器人协同工件装配区1包括两台相向工作的工业机器人20、21,在两台工业机器人20、21的末端分别安装有夹爪13、16、视觉采集单元12、17以及装配体放置拖盘14、15;

[0016] 单机器人独立工件装配区2、3包括放置在工作台的待装配工件以及固定在工作台的装配体放置底座18、19;

[0017] 机器人控制区4包括计算机7、10和机器人控制柜8、9以及无线模块11,其中无线模块11承担机器人控制柜8、9和计算机5、6之间以及两台计算机5、6之间的通信;

[0018] 利用视觉采集单元12、17采集待装配工件的图片,得到待装配工件的摆放角度信息,在计算机7、10中运行所述离线编程轨迹生成方法,控制机器人20、21的运动轨迹。

[0019] 所述无线模块11就是通过物联网技术,计算机7、10之间以及计算机7、10与机器人控制柜8、9之间组成了以无线路由器为中心的星型局域网,局域网中各个节点均通过无线路由器转发完成整个系统的通信,其中,指令是以“#”作为起始符,以“/”作为终止符的字符串,若一次性发送多条指令,则指令之间需以“+”相隔,当服务器或者客户端接收到消息,首先会遍历字符串,如果发现起始符和终止符不完整,则说明不是完整命令,对其进行丢弃等待重新接收;若命令完整,则以“+”分隔符对字符串进行分割,得到多个子字符串,根据每个字符串对应的命令类型选择不同的处理模块,并采用基于消息响应的异步机制作为消息处理机制,同时采用互斥锁的方法来防止多个线程对消息处理模块同时进行访问。

[0020] 所述双机器人协同装配系统,当双机协同装配过程中出现故障时,两台机器人20、21均能够切换到单机模式在单机器人独立工件装配区2、3分别进行单独智能装配。

[0021] 所述基于离线编程轨迹生成方法的双机器人协同装配方法,两台机器人分别执行所述离线编程轨迹生成步骤,从而在协同装配系统中完成实际环境下的工件装配工作,具体包括如下步骤:

[0022] 步骤1:启动双机器人协同装配系统;

[0023] 步骤2:触发视觉采集单元12、17,采集待装配工件的图片,对于装配时需要拧合的工件,利用其图像信息计算出装配过程中机器人末端需要旋转的角度;

[0024] 步骤3:利用三点校准法测量装配区工件的坐标信息并将各个工件所对应的校准数据存储于计算机内存中;

[0025] 步骤4:在计算机7、10中运行离线编程软件,导入机器人及装配工件的相关模型并对各个模型进行校准,结合步骤2的角度计算结果,进行两台机器人各自工件装配和协同工件装配的仿真、碰撞检测以及轨迹生成,等待所需轨迹生成后进入步骤5;

[0026] 步骤5:通过离线编程软件中的后置代码转换功能,将仿真环境中生成的轨迹转化成可执行代码并导入机器人控制柜8、9中等待执行;

[0027] 步骤6:设置两台机器人20、21处于在线模式,运行步骤5导入的可执行代码;

[0028] 步骤7:待装配工作完毕,关闭双机器人协同装配系统。与现有技术相比,本发明的有益效果是:

[0029] 本发明的双机器人协同装配系统充分体现了工业机器人协同作业的概念。相比现有的离线编程软件技术,本发明加入视觉角度识别单元与视觉误差补偿单元,可以适应多种类型工件的装配工作,效率高,可扩展性强。在此软件技术与硬件装置的基础上,可以进一步对群工业机器人智能作业的模式进行研究,为企业和高校的相关研究与实践提供强有力的基础。

[0030] 本发明中提出的离线编程轨迹生成方法,代替传统的人工示教编程方式,提高了工业机器人的编程效率与工作精度。相比现有离线编程软件技术,加入了视觉信息处理单元,使得此方法生成的轨迹可以适用于多种类型工件的装配工作,适应性高,可移植性强。

附图说明

[0031] 图1为本发明离线编程中STEP模型重建算法的流程图。

[0032] 图2为本发明离线编程中轨迹生成算法的流程图。

[0033] 图3为本发明双机器人协同装配系统的架构图。

[0034] 图4为本发明双机器人协同装配系统的操作流程。

具体实施方式

[0035] 下面结合附图和实例详细说明本发明的实施方式。

[0036] 如图1所示,针对本文提出的一种基于离线编程的轨迹生成方法,结合工件装配的实例来详细介绍其中的模型重建算法流程,其具体步骤如下:

[0037] (a) STEP模型文件读取,针对以字符串形式保存的STEP模型文件通过逐行读取的形式提取其有效信息并保存在计算机内存中,根据STEP文件格式选择相应的字符分割算法对每行字符串进行分割,提取其中的有效实体信息。具体操作是,从STEP文件的数据段开始,针对每行字符串,提取“#”与“=”之间的数字用来表示实体号,提取“=”与“(”之间的字符串用来表示实体的类型,提取“(”与“,”之间的字符串用来表示实体的名称,将“(”与“)”中第一个“,”之后的字符串通过“,”进行分割而得到的每个字符串用来表示实体的参数。对于每个实体的实体号、实体类型、实体名称以及参数信息都是以结构体的形式进行存储,这些结构体也就组成了STEP模型在内存中的信息。如#206=DIRECTION (“,(0.E+000,0.E+000,-1.))在经过字符分割之后得出其含义为一个实体号是206的实体方向(0,0,-1)。

[0038] (b) 几何信息与拓扑信息提取,提取几何信息就是通过STEP AP203协议中的几何实体来表示STEP模型文件的几何信息。具体操作是,采用参数曲线和参数曲面的方式来统一描述实体中的几何信息。例如:

[0039] #191=LINE (“,#192,#193);

[0040] #192=CARTESIAN_POINT (“,(-2.0,1.0,2.0));

[0041] #193=VECTOR (“,#194,1.);

[0042] #194=DIRECTION (“,(-1.,0.E+000,0.E+000));

[0043] 表示起点为(-2,1,2),沿x轴负方向,大小为1的直线段。

[0044] 提取拓扑数据就是通过STEP AP203协议中的拓扑实体来表示STEP模型文件中的拓扑数据。具体操作就是,采用由低到高的层次关系在STEP AP203协议下表示模型的拓扑数据,例如:

[0045] STEP模型文件中一个封闭壳实体定义为:

[0046] #13=CLOSED_SHELL (“,(#14,#257,#558,#709,#803,#874,#944,#1052,#1151,#1232))

[0047] 其中的拓扑数据就是该封闭壳的实体号为13,由#14,#257,#558,#709,#803,#874,#944,#1052,#1151,#1232定义的10个高级面组成。

[0048] (c) OCC模型转换,根据STEP文件中的实体信息创建相应的OCC对象。具体操作是将STEP模型文件中的装配体映射为OCC中TopoDS_Compound,将装配体中的零件映射为TopoDS_Compound包含的各种shape,将构成零件的几何实体与拓扑实体映射为OCC中的几何对象与拓扑形状,从而建立STEP模型与OCC模型的映射关系。对每一个实体结构体,根据其类型,通过已知的STEP实体与OCC对象之间的映射关系,利用OCC中的相关函数创建相应的OCC对象并利用实体参数对其初始化。如果一个实体是另一个实体的参数,那么立即创建一个作为参数的实体的OCC对象并初始化。所有初始化的对象存放在一个map中,避免重复初始化。OCC中StepToGeom类提供了将STEP几何实体转化为OCC几何对象的方法,

StepToTopoDS包提供了将STEP拓扑实体转化为OCC拓扑shape的方法。可以利用这些方法，快速创建相应的OCC对象。

[0049] 如图2所示,在模型重建的算法基础上,结合工件装配实例进一步叙述轨迹生成算法的主要流程,其步骤如下:

[0050] (a) 在软件中导入所需机器人STEP模型以及工件STEP模型,利用模型重建算法进行OCC模型生成并利用三点校准法对模型进行校准;

[0051] (b) 在工件的OCC模型上定义工件的抓取点与放置点;

[0052] (c) 定义机器人装配轨迹所需的轨迹辅助点;

[0053] (d) 将机器人的装配轨迹划分为多个直线段,并选择直线段所对应的参数方程,OCC中三维直线的参数方程为:

[0054] $C(u) = P + u \cdot D, u \in (-\infty, +\infty)$

[0055] 式中: u 是曲线参数; P 是三维空间中的一个点; D 是三维空间中的一个方向。

[0056] (e) 等参数曲线插补。针对直线段选择等参数曲线插补算法来生成抓取点与放置点之间的中间轨迹点,具体步骤为:

[0057] i. 确定需要插补的点的数量 N ;

[0058] ii. 设置等分参数的步长 $\Delta u = \frac{u_{\max} - u_{\min}}{N + 1}$;

[0059] iii. 根据步长 Δu 对直线段的参数空间 $[u_{\min}, u_{\max}]$ 进行均匀分割,形成等差数列 $\{u_{\min}, u_{\min} + \Delta u, u_{\min} + 2\Delta u, \dots, u_{\max}\}_x$;

[0060] iv. 根据公式 $C(u) = P + u \cdot D, u \in (-\infty, +\infty)$ 计算等差数列中每个参数在直线段上的点。

[0061] (f) 姿态插补,实质上就是插补点三个欧拉角 α, β, γ 的计算。在轨迹生成中一般采用一个局部坐标系来定义机器人的末端姿态。具体操作是,利用GeomLProp包中的函数计算直线段在轨迹点处的切向量作为轨迹点局部坐标系的DirX,计算直线段所在的平面上在轨迹点处的平面的法向量作为轨迹点局部坐标系的DirZ,那么机器人末端局部坐标系中的Z、X、Y三个方向分别为: $-\text{DirZ}, \text{DirX}, \text{DirY} = (-\text{DirZ}) \times \text{DirX}$,根据其得到对应的姿态矩阵,这样就可以求得基坐标系与局部坐标系之间的转换矩阵

$$[0062] \quad R_{zxx} = \begin{bmatrix} c\beta c\gamma & -c\beta s\gamma & s\beta \\ c\alpha s\gamma + s\alpha s\beta c\gamma & c\alpha c\gamma - s\alpha s\beta s\gamma & -s\alpha c\beta \\ s\alpha s\gamma - c\alpha s\beta c\gamma & s\alpha c\gamma + c\alpha s\beta s\gamma & c\alpha c\beta \end{bmatrix}$$

[0063] 式中: c 是cos的简写, s 是sin的简写

[0064] 如果已知从基坐标系 C_0 变换为局部坐标系 C_0' 的旋转矩阵

$$[0065] \quad R_C = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c\beta c\gamma & -c\beta s\gamma & s\beta \\ c\alpha s\gamma + s\alpha s\beta c\gamma & c\alpha c\gamma - s\alpha s\beta s\gamma & -s\alpha c\beta \\ s\alpha s\gamma - c\alpha s\beta c\gamma & s\alpha c\gamma + c\alpha s\beta s\gamma & c\alpha c\beta \end{bmatrix}$$

[0066] 根据转换矩阵就可以得到机器人末端姿态矩阵对应的三个欧拉角;

$$[0067] \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha = \operatorname{atan} 2(-r_{23}, r_{33}) \\ \beta = \operatorname{atan} 2\left(r_{13}, \sqrt{r_{23}^2 + r_{33}^2}\right) \\ \gamma = \operatorname{atan} 2(-r_{12}, r_{11}) \end{array} \right\}, \quad \text{if } r_{23}^2 + r_{33}^2 > 0$$

$$[0068] \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha = 0 \\ \beta = \frac{\pi}{2} \\ \gamma = \operatorname{atan} 2(r_{21}, r_{22}) \end{array} \right\}, \quad \text{else if } r_{13} > 0$$

$$[0069] \quad \left\{ \begin{array}{l} \alpha = 0 \\ \beta = -\frac{\pi}{2} \\ \gamma = \operatorname{atan} 2(r_{21}, r_{22}) \end{array} \right\}, \quad \text{else}$$

[0070] (g) 生成一系列包含轨迹点的位置和姿态的代码,并将对应代码下载到对应的机器人等待运行。

[0071] 如图3所示,本发明基于离线编程轨迹生成方法的双机器人协同装配系统,包括双机器人协同工件装配区1、单机器人独立工件装配区2、3、机器人控制区4和电脑显示屏5、6。

[0072] 如图3所示双机器人协同工件装配区1包括两台相向工作的工业机器人20、21,在两台工业机器人20、21的末端分别安装有夹爪13、16、视觉采集单元12、17以及装配体放置拖盘14、15,夹爪用来夹取单机器人独立工件装配区2、3的工件,智能相机用来识别工件种类与工件的摆放角度,装配体放置托盘是两台机器人在协同装配过程中互相放置工件的装置。单机器人独立工件装配区2、3包括放置在工作台的待装配工件以及固定在工作台的装配体放置底座18、19。在正常通信的基础上,两台机器人能够以一方夹放工件,一方托举工件的方式交替进行装配,在相互配合的方式下,最终两台机器人都能完成一个完整装配体的装配工作。特别的,当双机器人协同装配过程中出现故障(如:通信断开)时,两台机器人都可以切换到单机模式在独立工件装配区进行单独智能装配。其中,单机模式下需要拧合的装配动作是机器人借助固定在工作台上的底座18、19完成的。机器人控制区4包括计算机7、10和机器人控制柜8、9以及无线模块11,其中无线模块11承担机器人控制柜8、9和计算机5、6之间以及两台计算机5、6之间的通信;

[0073] 如图4所示,双机器人协同装配系统的操作流程如下所示:

[0074] (a) 开启双机器人协同装配系统;

[0075] (b) 触发视觉单元,对工件的摆放角度信息进行采集处理;

[0076] 其中,工件角度信息获取时,通过移动机器人末端来采集所有工件的图片。将采集到的图片经过计算机离线编程软件进行处理和有效信息的提取。图片处理的步骤如下:

[0077] i. 目标区域预处理。根据工件识别结果区域,设置原图的ROI区域,将图像ROI区域从RGB颜色空间转换至CMYK颜色空间。其中,RGB与CMYK颜色空间转换关系为:

$$[0078] \begin{cases} C' = 255 - R \\ M' = 255 - G \\ Y' = 255 - B \\ K = \min(C', M', Y') \\ C = C' - K \\ M = M' - K \\ Y = Y' - K \end{cases}$$

[0079] ii. 目标分割。根据工件类型,提取图像ROI区域特定通道的图像,并对图像进行阈值分割和降噪处理,获得目标工件二值图。

[0080] iii. 提取工件中心点。求取目标工件二值图的外接矩形,外接矩形的中心即为工件中心坐标。

[0081] iv. 距离滤波。根据角度识别标记与工件中心的距离进行滤波处理,初步确定识别标记位置。

[0082] v. 形态学处理。对初步确定的区域进行一定的腐蚀膨胀以及面积滤波,得到最终进行角度计算的图像。

[0083] vi. 计算工件角度。计算识别标记的连通域中心坐标,根据该中心与工件中心坐标计算得到工件的角度。

[0084] (c) 利用三点校准法对工件的世界坐标信息进行提取得到校准信息。

[0085] (b) 在离线编程软件中导入所需机器人与工件的模型,并利用校准信息进行模型校准;

[0086] (e) 运行离线编程软件,对双机器人协同装配的过程与单机器人独立装配的过程均进行仿真,并生成可执行代码;

[0087] (f) 两台机器人建立TCP/IP通信,在通信正常的情况下进行双机协同装配,若某台机器人出现故障或者通信出现故障则自动切换至单机器人独立装配模式进行工作;

[0088] (g) 装配结束,关闭系统。

[0089] 值得注意的是,上述的具体实施方式用于解释说明本发明,仅为本发明的优选实施方案,而不是对本发明进行限制,在本发明的精神和权利要求的保护范围内,对本发明做出的任何修改、等同替换、改进等,都属于本发明的保护范围。

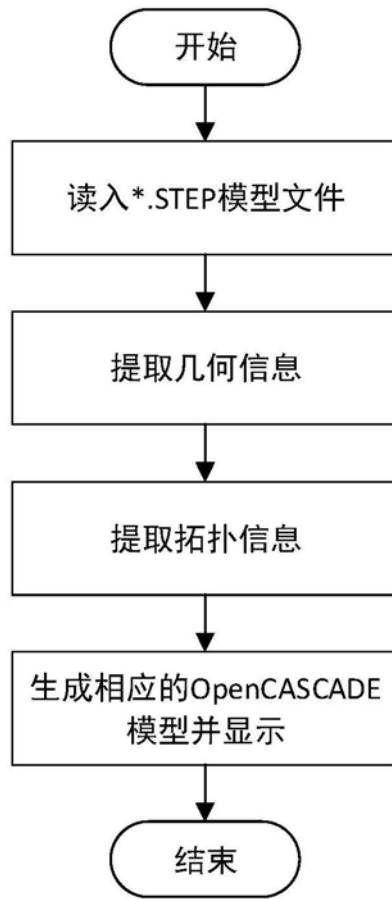


图1

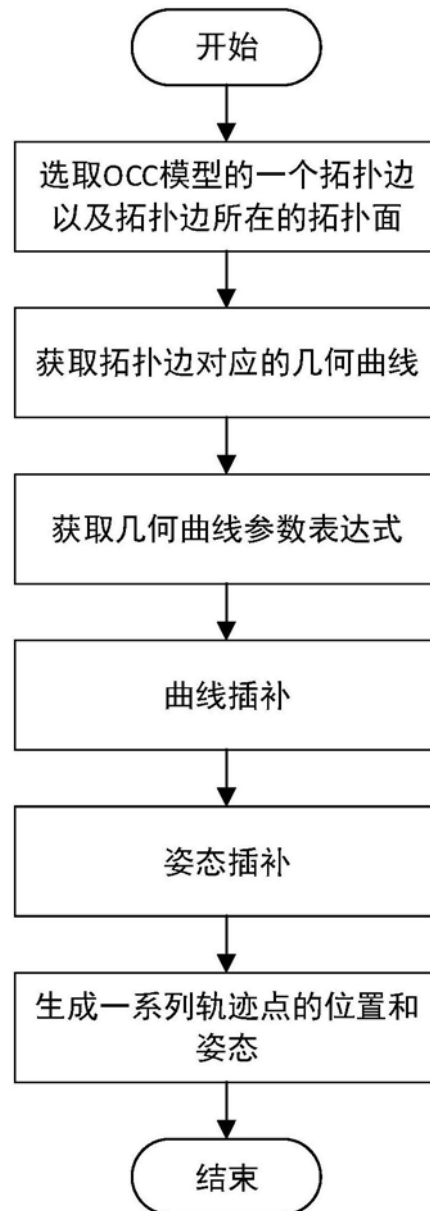


图2

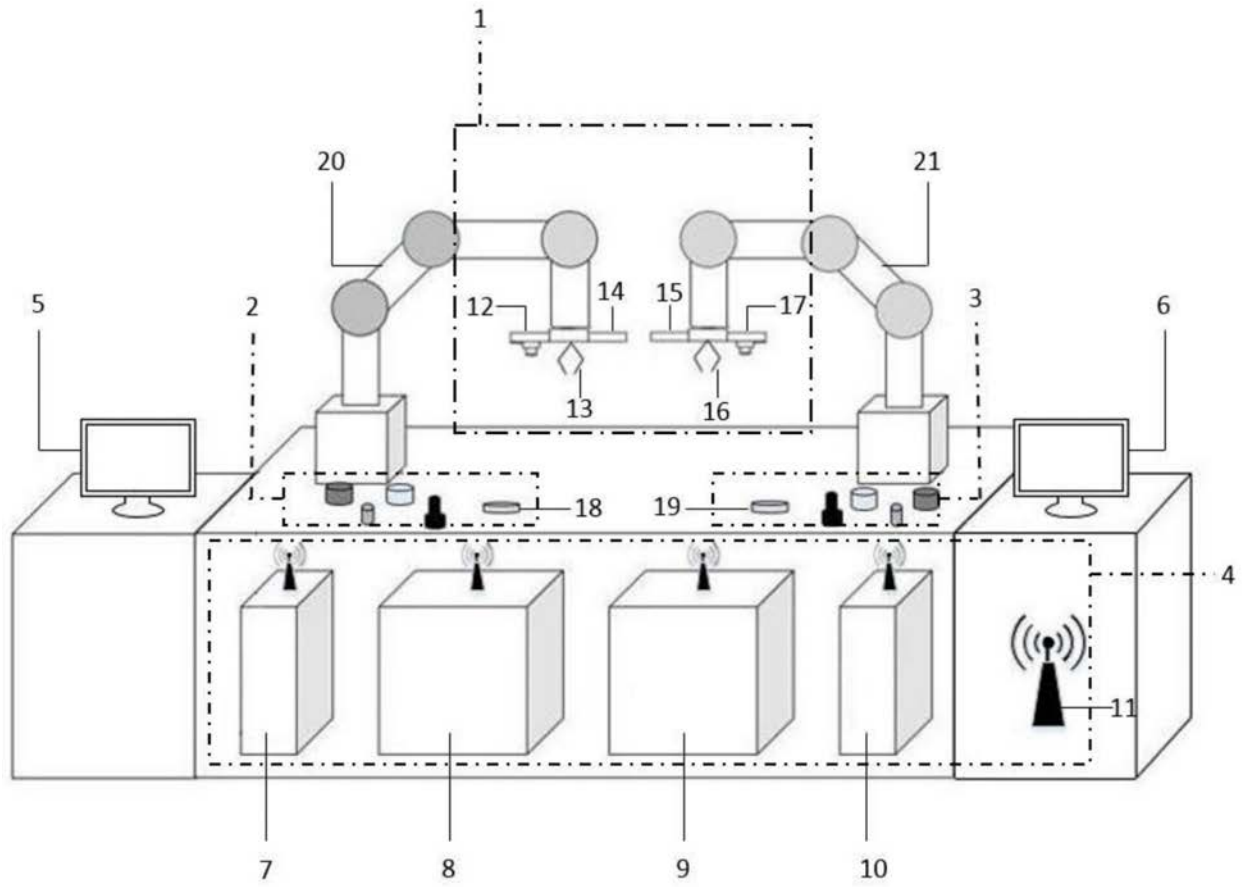


图3

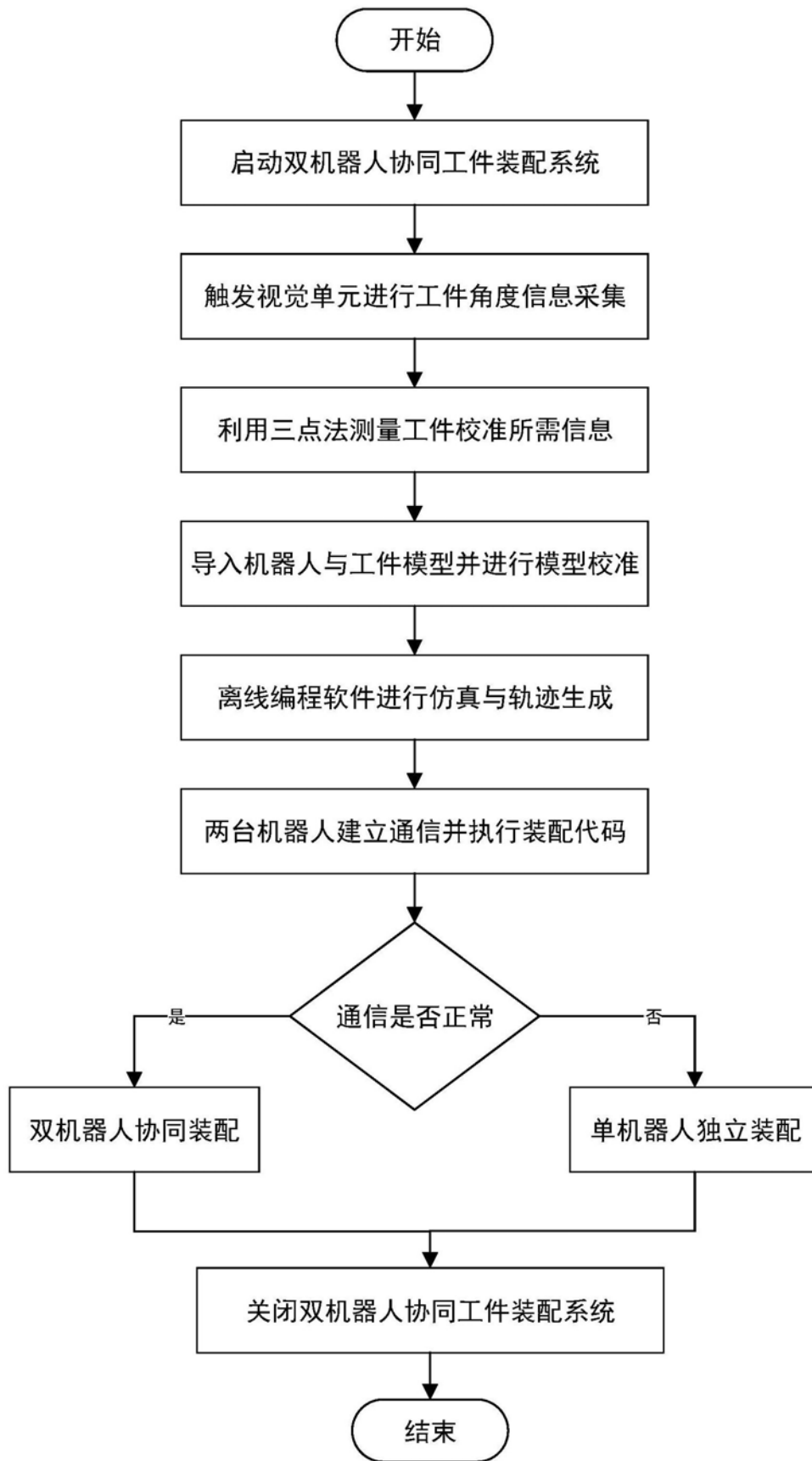


图4