



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 118493401 B

(45) 授权公告日 2024.09.27

(21) 申请号 202410911487.2

B25J 9/08 (2006.01)

(22) 申请日 2024.07.09

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 110914022 A, 2020.03.24

申请公布号 CN 118493401 A

CN 110977931 A, 2020.04.10

(43) 申请公布日 2024.08.16

审查员 杨青山

(73) 专利权人 香港理工大学深圳研究院

地址 518057 广东省深圳市南山区粤海街道高新技术产业园南区粤兴一道18号香港理工大学产学研大楼205室

(72) 发明人 郑湃 殷悦 李成熙 范峻铭

(74) 专利代理机构 深圳市君胜知识产权代理事务所(普通合伙) 44268

专利代理人 王永文 刘文求

(51) Int.Cl.

B25J 9/16 (2006.01)

权利要求书3页 说明书11页 附图6页

(54) 发明名称

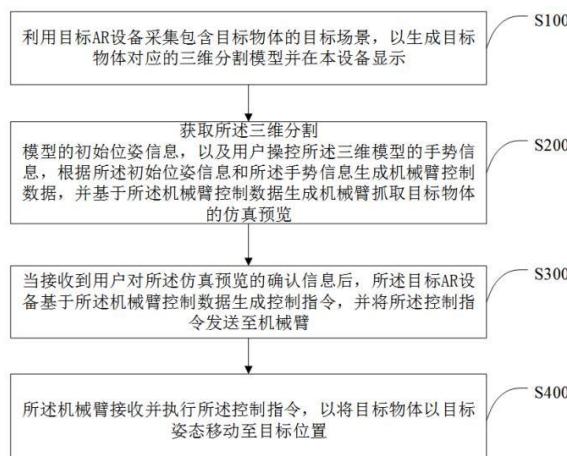
基于低代码编程的人机协作装配方法、系统及存储介质

(57) 摘要

本发明提供一种基于低代码编程的人机协作装配方法、系统及存储介质，所述方法包括：利用目标AR设备采集包含目标物体的目标场景，生成三维分割模型并显示；获取三维分割模型的初始位姿信息和用户操控三维分割模型的手势信息，根据初始位姿信息和手势信息生成机械臂控制数据，并生成机械臂抓取目标物体的仿真预览；当接收到用户对仿真预览的确认信息后，目标AR设备基于机械臂控制数据生成控制指令，并将控制指令发送至机械臂；机械臂接收并执行控制指令，以将目标物体以目标姿态移动至目标位置。本发明利用增强现实技术使用户能够直观地操控三维分割模型，进而生成机械臂的控制指令，减少代码的编写工作量，有效提高了机械臂的编程效率。

B

CN 118493401 B



CN

1.一种基于低代码编程的人机协作装配方法,其特征在于,所述方法包括:

利用目标AR设备采集包含目标物体的目标场景,以生成目标物体对应的三维分割模型并在本设备显示;

获取所述三维分割模型的初始位姿信息,以及用户操控所述三维分割模型的手势信息,根据所述初始位姿信息和所述手势信息生成机械臂控制数据,并基于所述机械臂控制数据生成机械臂抓取目标物体的仿真预览;

当接收到用户对所述仿真预览的确认信息后,所述目标AR设备基于所述机械臂控制数据生成控制指令,并将所述控制指令发送至机械臂;

所述机械臂接收并执行所述控制指令,以将目标物体以目标姿态移动至目标位置。

2.根据权利要求1所述的基于低代码编程的人机协作装配方法,其特征在于,所述利用目标AR设备采集包含目标物体的目标场景,以生成目标物体对应的三维分割模型并在本设备显示,包括:

利用目标AR设备采集包含目标物体的目标场景,得到包括目标物体的RGB图像、拍摄目标物体时的相机位姿、以及目标物体的初始点云;

将所述RGB图像、所述相机位姿和所述初始点云输入经训练的三维高斯溅射模型,经所述三维高斯溅射模型处理,得到所述目标物体的初始三维高斯分布;

将所述RGB图像输入分割一切模型,经所述分割一切模型处理,得到所述目标物体的二维分割掩膜,利用所述二维分割掩膜对所述初始三维高斯分布进行逆光栅化处理,得到所述目标物体的初始分割结果;

利用KNN统计过滤算法对所述初始分割结果进行过滤,得到若干三维高斯球,将全部所述三维高斯球转化为点云,得到目标物体对应的三维分割模型并在本设备显示。

3.根据权利要求2所述的基于低代码编程的人机协作装配方法,其特征在于,所述三维高斯溅射模型的训练步骤包括:

构建初始三维高斯溅射模型;

获取训练数据集,所述训练数据集包括多组训练场景,每组所述训练场景由拍摄目标训练物体所得的训练RGB图像,拍摄目标训练物体时的训练相机位姿,以及目标训练物体的初始训练点云组成;

在每次迭代训练中,将每组所述训练场景中的所述训练RGB图像、所述训练相机位姿和所述初始训练点云输入所述初始三维高斯溅射模型的同时,将每组所述训练场景中的所述训练RGB图像输入分割一切模型;

基于所述初始三维高斯溅射模型的输出结果和所述分割一切模型的输出结果计算损失函数,并基于所述损失函数对所述初始三维高斯溅射模型进行参数更新;

重复进行迭代训练,直至所述损失函数收敛至预设值,得到经训练的三维高斯溅射模型。

4.根据权利要求1所述的基于低代码编程的人机协作装配方法,其特征在于,所述手势信息包括目标位姿信息、抓取策略信息和路径引导信息;所述获取所述三维分割模型的初始位姿信息,以及用户操控所述三维分割模型的手势信息,根据所述初始位姿信息和所述手势信息生成机械臂控制数据,包括:

获取所述三维分割模型的初始位姿信息;

获取用户操控所述三维分割模型的目标位姿信息、抓取策略信息和路径引导信息；

基于所述初始位姿信息和所述目标位姿信息进行位姿计算，将所述三维分割模型的坐标从增强现实坐标系转换到机械臂坐标系下；

根据所述抓取策略信息和所述路径引导信息，在所述机械臂坐标系下生成机械臂控制数据，所述机械臂控制数据包括机械臂各关节到达目标位姿的运动角度，以及机械臂进行目标物体抓取的路径规划。

5. 根据权利要求4所述的基于低代码编程的人机协作装配方法，其特征在于，所述根据所述抓取策略信息和所述路径引导信息，在所述机械臂坐标系下生成机械臂控制数据，包括：

利用循环坐标下降算法处理所述抓取策略信息，得到机械臂各关节在机械臂坐标系下到达目标位姿的运动角度；

基于所述路径引导信息进行路径规划处理，得到机械臂在机械臂坐标系下进行目标物体抓取的路径规划。

6. 根据权利要求1所述的基于低代码编程的人机协作装配方法，其特征在于，所述机械臂执行所述控制指令之前，还包括：

获取所述控制指令对应的先决条件，并确定所述机械臂是否满足所述先决条件，所述先决条件用于判断机械臂是否可执行对应的控制指令；

若所述机械臂满足所述先决条件，则确定所述机械臂可执行所述控制指令。

7. 根据权利要求1所述的基于低代码编程的人机协作装配方法，其特征在于，所述方法还包括：

在所述机械臂执行所述控制指令的同时，实时监测所述机械臂的实际状态，生成实际状态时序数据；

基于所述机械臂抓取目标物体的仿真预览，生成仿真状态时序数据；

计算每个时间步长内所述实际状态时序数据和所述仿真状态时序数据的差值，若每个时间步长的所述差值均在预设阈值内，则确定所述机械臂的实际状态和仿真状态一致；

若任一时间步长的所述差值超过预设阈值，则确定所述机械臂的实际状态和仿真状态不一致。

8. 根据权利要求1所述的基于低代码编程的人机协作装配方法，其特征在于，所述机械臂执行所述控制指令之后，还包括：

获取所述控制指令对应的后置条件，并确定所述机械臂在执行所述控制指令后是否满足所述后置条件，所述后置条件用于确定机械臂是否已完成控制指令并处于指定的目标状态；

若所述机械臂满足所述后置条件，则发送任务成功信息至所述目标AR设备。

9. 一种基于低代码编程的人机协作装配系统，其特征在于，包括：

模型显示模块，用于利用目标AR设备采集包含目标物体的目标场景，以生成目标物体对应的三维分割模型并在本设备显示；

仿真预览模块，用于获取所述三维分割模型的初始位姿信息，以及用户操控所述三维分割模型的手势信息，根据所述初始位姿信息和所述手势信息生成机械臂控制数据，并基于所述机械臂控制数据生成机械臂抓取目标物体的仿真预览；

指令发送模块,用于当接收到用户对所述仿真预览的确认信息后,所述目标AR设备基于所述机械臂控制数据生成控制指令,并将所述控制指令发送至机械臂;

指令执行模块,用于所述机械臂接收并执行所述控制指令,以将目标物体以目标姿态移动至目标位置。

10.一种计算机可读存储介质,其特征在于,所述计算机可读存储介质存储有基于低代码编程的人机协作装配程序,所述基于低代码编程的人机协作装配程序能够被执行以用于实现如权利要求1-8任意一项所述的基于低代码编程的人机协作装配方法的步骤。

基于低代码编程的人机协作装配方法、系统及存储介质

技术领域

[0001] 本发明涉及人机协作装配领域,尤其涉及的是一种基于低代码编程的人机协作装配方法、系统及存储介质。

背景技术

[0002] 机械臂作为工业领域柔性自动化的典范,为制造业带来了生产力的巨大飞跃。它能够代替人类操作员执行重复性高、精度要求高的任务,极大地提高了生产效率和产品质量。

[0003] 机械臂传统的离线编程方式允许工程师在虚拟的仿真环境中对机械臂的动作进行规划和调试。这种方法无需中断实际生产过程,并且能够处理更为复杂的运动轨迹。但此种方式的离线编程严重依赖于精准的数字模型,包括机械臂本身、操作的工件以及整个工作环境的数字化表示。而构建这些数字模型需要耗费大量的时间和精力,以确保虚拟环境中的仿真结果能够真实地反映实际工作空间中的情况。此外,传统的离线编程方法仍然需要编写大量的代码来定义机械臂的运动轨迹、控制逻辑以及与外部传感器的交互,并且需要对大量的参数进行精细的配置,才能使机械臂按照预期的方式工作,使得机械臂的编程效率较低。

[0004] 因此,现有技术存在缺陷,有待改进与发展。

发明内容

[0005] 本发明要解决的技术问题在于,针对现有技术的上述缺陷,提供一种基于低代码编程的人机协作装配方法、系统及存储介质,旨在解决现有技术中机械臂的编程效率较低的问题。

[0006] 本发明解决技术问题所采用的技术方案如下:

[0007] 第一方面,本发明实施例提供一种基于低代码编程的人机协作装配方法,所述方法包括:

[0008] 利用目标AR设备采集包含目标物体的目标场景,以生成目标物体对应的三维分割模型并在本设备显示;

[0009] 获取所述三维分割模型的初始位姿信息,以及用户操控所述三维分割模型的手势信息,根据所述初始位姿信息和所述手势信息生成机械臂控制数据,并基于所述机械臂控制数据生成机械臂抓取目标物体的仿真预览;

[0010] 当接收到用户对所述仿真预览的确认信息后,所述目标AR设备基于所述机械臂控制数据生成控制指令,并将所述控制指令发送至机械臂;

[0011] 所述机械臂接收并执行所述控制指令,以将目标物体以目标姿态移动至目标位置。

[0012] 在一种实施方式中,所述利用目标AR设备采集包含目标物体的目标场景,以生成目标物体对应的三维分割模型并在本设备显示,包括:

- [0013] 利用目标AR设备采集包含目标物体的目标场景,得到包括目标物体的RGB图像、拍摄目标物体时的相机位姿、以及目标物体的初始点云;
- [0014] 将所述RGB图像、所述相机位姿和所述初始点云输入经训练的三维高斯溅射模型,经所述三维高斯溅射模型处理,得到所述目标物体的初始三维高斯分布;
- [0015] 将所述RGB图像输入分割一切模型,经所述分割一切模型处理,得到所述目标物体的二维分割掩膜,利用所述二维分割掩膜对所述初始三维高斯分布进行逆光栅化处理,得到所述目标物体的初始分割结果;
- [0016] 利用KNN统计过滤算法对所述初始分割结果进行过滤,得到若干三维高斯球,将全部所述三维高斯球转化为点云,得到目标物体对应的三维分割模型并在本设备显示。
- [0017] 在一种实施方式中,所述三维高斯溅射模型的训练步骤包括:
- [0018] 构建初始三维高斯溅射模型;
- [0019] 获取训练数据集,所述训练数据集包括多组训练场景,每组所述训练场景由拍摄目标训练物体所得的训练RGB图像,拍摄目标训练物体时的训练相机位姿,以及目标训练物体的初始训练点云组成;
- [0020] 在每次迭代训练中,将每组所述训练场景中的所述训练RGB图像、所述训练相机位姿和所述初始训练点云输入所述初始三维高斯溅射模型的同时,将每组所述训练场景中的所述训练RGB图像输入分割一切模型;
- [0021] 基于所述初始三维高斯溅射模型的输出结果和所述分割一切模型的输出结果计算损失函数,并基于所述损失函数对所述初始三维高斯溅射模型进行参数更新;
- [0022] 重复进行迭代训练,直至所述损失函数收敛至预设值,得到经训练的三维高斯溅射模型。
- [0023] 在一种实施方式中,所述手势信息包括目标位姿信息、抓取策略信息和路径引导信息;所述获取所述三维分割模型的初始位姿信息,以及用户操控所述三维分割模型的手势信息,根据所述初始位姿信息和所述手势信息生成机械臂控制数据,包括:
- [0024] 获取所述三维分割模型的初始位姿信息;
- [0025] 获取用户操控所述三维分割模型的目标位姿信息、抓取策略信息和路径引导信息;
- [0026] 基于所述初始位姿信息和所述目标位姿信息进行位姿计算,将所述三维分割模型的坐标从增强现实坐标系转换到机械臂坐标系下;
- [0027] 根据所述抓取策略信息和所述路径引导信息,在所述机械臂坐标系下生成机械臂控制数据,所述机械臂控制数据包括机械臂各关节到达目标位姿的运动角度,以及机械臂进行目标物体抓取的路径规划。
- [0028] 在一种实施方式中,所述根据所述抓取策略信息和所述路径引导信息,在所述机械臂坐标系下生成机械臂控制数据,包括:
- [0029] 利用循环坐标下降算法处理所述抓取策略信息,得到机械臂各关节在机械臂坐标系下到达目标位姿的运动角度;
- [0030] 基于所述路径引导信息进行路径规划处理,得到机械臂在机械臂坐标系下进行目标物体抓取的路径规划。
- [0031] 在一种实施方式中,所述机械臂执行所述控制指令之前,还包括:

- [0032] 获取所述控制指令对应的先决条件，并确定所述机械臂是否满足所述先决条件，所述先决条件用于判断机械臂是否可执行对应的控制指令；
- [0033] 若所述机械臂满足所述先决条件，则确定所述机械臂可执行所述控制指令。
- [0034] 在一种实施方式中，所述方法还包括：
- [0035] 在所述机械臂执行所述控制指令的同时，实时监测所述机械臂的实际状态，生成实际状态时序数据；
- [0036] 基于所述机械臂抓取目标物体的仿真预览，生成仿真状态时序数据；
- [0037] 计算每个时间步长内所述实际状态时序数据和所述仿真状态时序数据的差值，若每个时间步长的所述差值均在预设阈值内，则确定所述机械臂的实际状态和仿真状态一致；
- [0038] 若任一时间步长的所述差值超过预设阈值，则确定所述机械臂的实际状态和仿真状态不一致。
- [0039] 在一种实施方式中，所述机械臂执行所述控制指令之后，还包括：
- [0040] 获取所述控制指令对应的后置条件，并确定所述机械臂在执行所述控制指令后是否满足所述后置条件，所述后置条件用于确定机械臂是否已完成控制指令并处于指定的目标状态；
- [0041] 若所述机械臂满足所述后置条件，则发送任务成功信息至所述目标AR设备。
- [0042] 第二方面，本发明实施例还提供一种基于低代码编程的人机协作装配系统，包括：
- [0043] 模型显示模块，用于利用目标AR设备采集包含目标物体的目标场景，以生成目标物体对应的三维分割模型并在本设备显示；
- [0044] 仿真预览模块，用于获取所述三维分割模型的初始位姿信息，以及用户操控所述三维分割模型的手势信息，根据所述初始位姿信息和所述手势信息生成机械臂控制数据，并基于所述机械臂控制数据生成机械臂抓取目标物体的仿真预览；
- [0045] 指令发送模块，用于当接收到用户对所述仿真预览的确认信息后，所述目标AR设备基于所述机械臂控制数据生成控制指令，并将所述控制指令发送至机械臂；
- [0046] 指令执行模块，用于所述机械臂接收并执行所述控制指令，以将目标物体以目标姿态移动至目标位置。
- [0047] 第三方面，本发明实施例还提供一种计算机可读存储介质，所述计算机可读存储介质存储有基于低代码编程的人机协作装配程序，所述基于低代码编程的人机协作装配程序能够被执行以用于实现如上所述的基于低代码编程的人机协作装配方法的步骤。
- [0048] 本发明的有益效果：本发明实施例通过利用目标AR设备采集包含目标物体的目标场景，生成三维分割模型并显示；获取三维分割模型的初始位姿信息和用户操控三维分割模型的手势信息，根据初始位姿信息和手势信息生成机械臂控制数据，并基于机械臂控制数据生成机械臂抓取目标物体的仿真预览；当接收到用户对仿真预览的确认信息后，目标AR设备基于机械臂控制数据生成控制指令，并将控制指令发送至机械臂；机械臂接收并执行控制指令，以将目标物体以目标姿态移动至目标位置。本发明利用增强现实技术使用户能够直观地操控三维分割模型，进而生成机械臂的控制指令，减少代码的编写工作量，有效提高了机械臂的编程效率。

附图说明

- [0049] 图1是本发明中基于低代码编程的人机协作装配方法较佳实施例的流程图。
- [0050] 图2是本发明中三维高斯溅射模型的训练示意图。
- [0051] 图3是本发明中用户选中三维分割模型的示意图。
- [0052] 图4是本发明中用户利用手势对三维分割模型进行姿态调整的示意图一。
- [0053] 图5是本发明中用户利用手势对三维分割模型进行姿态调整的示意图二。
- [0054] 图6是本发明中用户利用手势对三维分割模型进行姿态调整的示意图三。
- [0055] 图7是本发明中用户利用手势拖动三维分割模型的示意图。
- [0056] 图8是本发明的整体架构示意图。
- [0057] 图9是本发明中人机协作装配系统较佳实施例的功能原理框图。

具体实施方式

[0058] 为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚、明确,以下参照附图并举实施例对本发明进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅用以解释本发明,并不用于限定本发明。

[0059] 机械臂是工业领域柔性自动化的实质体现,在制造过程中引入机械臂极大提高了生产力。然而,机械臂编程,特别是在人机协作装配领域,仍然面临着诸如耗时、过度依赖程序员编程水平等问题。传统在线编程中,操作员通过物理移动操纵杆或控制箱来控制机械臂。尽管该方法所需的编程技能和成本较低,但在复杂的装配任务中效率较低,且难以轻易修改。另一方面,离线编程允许程序员在仿真环境中对机械臂进行编程,无需停机,适用于更复杂的任务。但此种方式的离线编程严重依赖于精准的数字模型,包括机械臂本身、操作的工件以及整个工作环境的数字化表示。而构建这些数字模型需要耗费大量的时间和精力,以确保虚拟环境中的仿真结果能够真实地反映实际工作空间中的情况。此外,传统的离线编程方法仍然需要编写大量的代码来定义机械臂的运动轨迹、控制逻辑以及与外部传感器的交互,并且需要对大量的参数进行精细的配置,才能使机械臂按照预期的方式工作,使得机械臂的编程效率较低。

[0060] 针对现有技术的上述缺陷,本发明提供一种基于低代码编程的人机协作装配方法、系统及存储介质,所述方法包括:利用目标AR设备采集包含目标物体的目标场景,生成三维分割模型并显示;获取三维分割模型的初始位姿信息和用户操控三维分割模型的手势信息,根据初始位姿信息和手势信息生成机械臂控制数据,并基于机械臂控制数据生成机械臂抓取目标物体的仿真预览;当接收到用户对仿真预览的确认信息后,目标AR设备基于机械臂控制数据生成控制指令,并将控制指令发送至机械臂;机械臂接收并执行控制指令,以将目标物体以目标姿态移动至目标位置。本发明通过增强现实技术使用户能够直观地操控三维分割模型,进而生成机械臂的控制指令,减少了代码的编写工作量,有效提高了机械臂的编程效率。

[0061] 请参见图1,本发明实施例所述的基于低代码编程的人机协作装配方法包括如下步骤:

[0062] 步骤S100、利用目标AR设备采集包含目标物体的目标场景,以生成目标物体对应的三维分割模型并在本设备显示。

[0063] 具体地，目标物体为现实中需要利用机械臂进行操作的物体。如利用机械臂抓取目标物体，并将目标物体以目标位姿移动到指定的目标位置。举例说明，若现实中需要利用机械臂移动一个箱子，则用户佩戴上目标AR设备，对箱子及其周围环境进行采集，以便生成箱子的三维分割模型并在目标AR设备上展示。后期用户可以利用目标AR设备对三维分割模型进行操作，以便生成现实中机械臂的控制指令以对目标物体进行操作。

[0064] 在一种实现方式中，所述目标AR设备为AR眼镜。

[0065] 在一种实现方式中，所述目标AR设备为Microsoft HoloLens 2。

[0066] 在一种实现方式中，所述利用目标AR设备采集包含目标物体的目标场景，以生成目标物体对应的三维分割模型并在本设备显示，包括：

[0067] 利用目标AR设备采集包含目标物体的目标场景，得到包括目标物体的RGB图像、拍摄目标物体时的相机位姿、以及目标物体的初始点云；

[0068] 将所述RGB图像、所述相机位姿和所述初始点云输入经训练的三维高斯溅射模型，经所述三维高斯溅射模型处理，得到所述目标物体的初始三维高斯分布；

[0069] 将所述RGB图像输入分割一切模型，经所述分割一切模型处理，得到所述目标物体的二维分割掩膜，利用所述二维分割掩膜对所述初始三维高斯分布进行逆光栅化处理，得到所述目标物体的初始分割结果；

[0070] 利用KNN统计过滤算法对所述初始分割结果进行过滤，得到若干三维高斯球，将全部所述三维高斯球转化为点云，得到目标物体对应的三维分割模型并在本设备显示。

[0071] 具体地，本发明采用了三维高斯溅射模型(3DGS, 3D Gaussian Splatting)和分割一切模型(SAM, Segment Anything Model)相结合方式来处理目标AR设备采集到的数据。首先，通过头戴式的目标AR设备采集目标场景，目标场景中以目标物体为中心，得到RGB图像、相机位姿和粗糙的初始点云。将RGB图像、相机位姿和初始点云输入经训练的三维高斯溅射模型，可以得到目标物体的初始三维高斯分布。即3D高斯球集合 $\mathbf{G} = \{\mathbf{g}_1, \mathbf{g}_2, \dots, \mathbf{g}_N\}$

其中， \mathbf{G} 代表3D高斯球集合， \mathbf{g}_1 为3D高斯球集合中的某个3D高斯球， N 代表场景中3D高斯球的个数。

[0072] 将RGB图像输入分割一切模型，经所述分割一切模型处理，得到所述目标物体的二维分割掩膜。例如，用户可以佩戴目标AR设备后，通过某个手势选中目标物体，此时目标AR设备会获取该相机位姿的RGB图像，经过分割一切模型处理，即可得到目标物体的二维分割掩膜。然后利用二维分割掩膜来逐像素点回溯初始三维高斯分布，即被光栅化的3D高斯球，得到最初的分割结果 \mathbf{G}^t 。但是，仅依赖这个分割结果会存在遗漏或多余的高斯球，需要利用KNN统计过滤统计算法，计算分割结果 \mathbf{G}^t 中，每个高斯分布周围最近的 $\sqrt{G^t}$ 个高斯分布的平均距离。计算所有高斯分布的平均距离的均值 μ 和标准差 σ ，移除平均距离超过 $\mu + \sigma$ 的高斯分布，得到新的集合 $\mathbf{G}^{t'}$ 就是分割后的目标物体的3D高斯球合集。获取这些高斯球的中心位置，并将其转化为点云，得到三维分割模型，即可在目标AR设备中显示，与目标物体重合。

[0073] 在一种实现方式中，所述三维高斯溅射模型的训练步骤包括：

[0074] 构建初始三维高斯溅射模型；

[0075] 获取训练数据集,所述训练数据集包括多组训练场景,每组所述训练场景由拍摄目标训练物体所得的训练RGB图像,拍摄目标训练物体时的训练相机位姿,以及目标训练物体的初始训练点云组成;

[0076] 在每次迭代训练中,将每组所述训练场景中的所述训练RGB图像、所述训练相机位姿和所述初始训练点云输入所述初始三维高斯溅射模型的同时,将每组所述训练场景中的所述训练RGB图像输入分割一切模型;

[0077] 基于所述初始三维高斯溅射模型的输出结果和所述分割一切模型的输出结果计算损失函数,并基于所述损失函数对所述初始三维高斯溅射模型进行参数更新;

[0078] 重复进行迭代训练,直至所述损失函数收敛至预设值,得到经训练的三维高斯溅射模型。

[0079] 具体地,本发明迭代的训练初始三维高斯溅射模型,来得到符合实际应用场景的三维高斯溅射模型。在训练的过程中,如图2所示,将训练RGB图像、训练相机位姿和初始训练点云输入所述初始三维高斯溅射模型后,得到3D高斯球集合。对3D高斯球集合中的每个3D高斯球附加一个关联特征 $f_g \in \mathbb{R}$ 。对该特征进行光栅化,将光栅化后的二维渲染掩膜结果和分割一切模型(SAM)输出的二维掩膜参考真值做损失函数计算。在计算过程中,利用每张训练RGB图像 I 所对应的训练相机位姿和参数,计算训练相机位姿下每个像素点 P 的光栅化渲染结果,其可表示为: $F_{I,p}^r = \sum_{i \in N} f_i \alpha_i \prod_{j=1}^{i-1} (1 - \alpha_j)$ 。式中, N 为覆盖在该像素点的高斯球的顺序集合, f_i 为第 i 个关联特征, α_i 为当前高斯球的散射强度, α_j 是按像素点排在当前高斯球前面的所有高斯球的散射强度, r 代表渲染标识。基于每个像素点 P 的光栅化渲染结果,可以得到二维掩膜渲染图像的光栅化特征 F_I^r , 对其利用像素级别的sigmoid 函数 σ 进行处理,得到渲染后的二维分割掩膜渲染结果,可表示为 $P_M = \sigma(F_I^r)$ 。

[0080] 将训练RGB图像输入分割一切模型,得到二维分割掩膜参考真值,表示为 $M = SAM(I, P)$, 式中, I 为输入的RGB图像集合 J 中的任一个, P 为人类操作者用手势输入的目标物体的空间坐标点所转化的RGB图像上的坐标。

[0081] 损失函数被定义为二维分割掩膜渲染结果 P_M 和由分割一切模型(SAM)提取的二维分割掩膜参考 M 的二元交叉熵,表示为:

$$[0082] \mathcal{L}_{SAM} = - \sum_{I \in J} \sum_{M \in M_I} \sum_p^{HW} [M_p \log P_{M,p} + (1 - M_p) \log (1 - P_{M,p})];$$

[0083] 式中, M_I 表示当前图片 I 中目标物体的二维分割掩膜, p 表示每个像素点, H 表示当前图片 I 的高度, W 表示当前图片 I 的宽度, M_p 表示该像素点的二维掩膜值(0或1), $P_{M,p}$ 表示 P_M 在该像素点的值。最后,利用损失函数对初始三维高斯溅射模型进行训练,直至损失函数收敛至预设值,此时得到经训练的三维高斯溅射模型。

[0084] 请参见图1,本发明实施例所述的基于低代码编程的人机协作装配方法还包括如下步骤:

[0085] 步骤S200、获取所述三维分割模型的初始位姿信息，以及用户操控所述三维分割模型的手势信息，根据所述初始位姿信息和所述手势信息生成机械臂控制数据，并基于所述机械臂控制数据生成机械臂抓取目标物体的仿真预览。

[0086] 具体地，当生成三维分割模型后，用户可以佩戴目标AR设备对三维分割模型进行操作，如抓取目标物体，调整目标物体的姿态，移动目标物体等。用户对三维分割模型的这些操作，会产生手势信息。本发明会结合三维分割模型的初始位姿信息和手势信息生成用于控制机械臂的机械臂控制数据，同时，还可以在目标AR设备中生成机械臂抓取目标物体的仿真预览。

[0087] 在本发明中，利用三维高斯溅射模型和分割一切模型实现对目标物体的三维分割，得到目标物体对应的三维分割模型，以及获取用户操作三维分割模型的手势信息，都基于本发明中的粗粒度人类视觉引导模块进行处理。而在细粒度机器人自主感知模块，会进行位姿计算和路径规划，并生成机械臂控制数据。在本发明的数字孪生仿真和控制模块，则会基于机械臂控制数据生成仿真预览。

[0088] 在一种实现方式中，所述手势信息包括目标位姿信息、抓取策略信息和路径引导信息；所述获取所述三维分割模型的初始位姿信息，以及用户操控所述三维分割模型的手势信息，根据所述初始位姿信息和所述手势信息生成机械臂控制数据，包括：

[0089] 获取所述三维分割模型的初始位姿信息；

[0090] 获取用户操控所述三维分割模型的目标位姿信息、抓取策略信息和路径引导信息；

[0091] 基于所述初始位姿信息和所述目标位姿信息进行位姿计算，将所述三维分割模型的坐标从增强现实坐标系转换到机械臂坐标系下；

[0092] 根据所述抓取策略信息和所述路径引导信息，在所述机械臂坐标系下生成机械臂控制数据，所述机械臂控制数据包括机械臂各关节到达目标位姿的运动角度，以及机械臂进行目标物体抓取的路径规划。

[0093] 具体地，本发明采用手势输入作为交互方式，当用户佩戴上目标AR设备后，采用拇指和食指捏合在一起的捏合手势实现选中物体的功能。用户可采用单手或双手捏合的手势选中三维分割模型。用户利用双手捏合选中三维模型，其操作示意图如图3所示。选中三维分割模型后，会产生抓取点参考信息，此信息属于抓取策略信息。用户利用单手捏和选中三维分割模型后，可利用手势进行旋转，以改变模型的姿态。用户利用手势对三维分割模型进行姿态调整的示意图可如图4、图5和图6所示。另外，用户可以拖动三维分割模型到目标位置，此过程会产生路径引导信息。其拖动效果示意图如图7所示。

[0094] 当获取到用户操作三维分割模型的手势信息后，可结合三维分割模型的初始位姿信息生成机械臂控制数据。手势信息包括目标位姿信息、抓取策略信息和路径引导信息。初始位姿信息包括三维物体在虚拟增强环境中的初始坐标系。目标位姿信息包括三维物体在虚拟增强环境中的目标位姿坐标系。抓取策略信息包括抓取三维分割模型的抓取点。路径引导信息为用户将三维分割模型移动到目标位置的路径。

[0095] 在基于初始位姿信息和目标位姿信息进行位姿计算的过程中，首先，获取目标AR设备预设的齐次变换矩阵 $H_{\text{base}}^{\text{AR}}$ ，来将目标AR设备中预设的虚拟机械臂模型坐标系 Ψ_{base}

和现实中的机械臂坐标系 Ψ_{base} 对齐。同时,目标AR设备可识别出三维分割模型的初始坐标系 Ψ_{org} 和增强现实坐标系之间的齐次坐标转换矩阵 $H_{\text{AR}}^{\text{org}}$,以及三维分割模型的目标位姿坐标系 Ψ_{tar} 和增强现实坐标系之间的齐次坐标转换矩阵 $H_{\text{AR}}^{\text{tar}}$ 。然后利用 $H_{\text{base}}^{\text{tar}} = H_{\text{AR}}^{\text{tar}} \cdot H_{\text{base}}^{\text{AR}}$,计算出三维物体的初始坐标系到机械臂坐标系之间的齐坐标转换矩阵,以及利用 $H_{\text{base}}^{\text{org}} = H_{\text{AR}}^{\text{org}} \cdot H_{\text{base}}^{\text{AR}}$ 计算出三维物体的目标姿态坐标系到机械臂坐标系之间的齐坐标转换矩阵。

[0096] 当进行完位姿计算后,根据所述抓取策略信息和所述路径引导信息,在所述机械臂坐标系下生成机械臂控制数据。

[0097] 在一种实现方式中,所述根据所述抓取策略信息和所述路径引导信息,在所述机械臂坐标系下生成机械臂控制数据,包括:

[0098] 利用循环坐标下降算法处理所述抓取策略信息,得到机械臂各关节在机械臂坐标系下到达目标位姿的运动角度;

[0099] 基于所述路径引导信息进行路径规划处理,得到机械臂在机械臂坐标系下进行目标物体抓取的路径规划。

[0100] 具体地,利用逆运动学的循环坐标下降算法(CCDIK)处理用户提供的抓取点信息,来计算机械臂到达目标姿态所需的各关节运动角度。根据用户提供的路径引导信息,计算从初始位置到目标位置的路径规划。本发明采用预设的插值算法对机械臂进行路径规划。本插值算法输入项为 Ψ_{org} 、 Ψ_{tar} 、 $[P_0, \dots, P_{n-1}]$ 和 Δt 。其中, $[P_0, \dots, P_{n-1}]$ 为参考路径上均匀取样的n个路径点, Δt 为数字孪生仿真和预览模块中从上一帧到当前帧之间的时间间隔,单位为秒。本发明中的数字孪生仿真和预览模块用于根据用户对三维分割模型的操作而生成仿真预览,本插值算法输出的是每个途径点上机械臂各关节的运动角度 $[q_0, \dots, q_N]$,以及路径规划数据。

[0101] 请参见图1,本发明实施例所述的基于低代码编程的人机协作装配方法还包括如下步骤:

[0102] 步骤S300、当接收到用户对所述仿真预览的确认信息后,所述目标AR设备基于所述机械臂控制数据生成控制指令,并将所述控制指令发送至机械臂。

[0103] 具体地,数字孪生仿真和控制模块包括数字孪生和预览模块,以及物理执行模块。数字孪生和预览模块将机械臂的运动提前展示在目标AR设备中,供用户进行检查。用户可以通过语音或者手势驱动的方式进行确认。当接收到确认信息后,即可生成控制指令并发送机械臂。本发明利用数字孪生技术创建机械臂对目标物体操作的仿真预览,可以提前展示其运动轨迹和预期效果,使用户能够直观地看到机械臂的实际工作状态。通过这种方式,用户可以在实际操作之前发现并纠正潜在的问题,从而提高工作效率和安全性。

[0104] 请参见图1,本发明实施例所述的基于低代码编程的人机协作装配方法还包括如下步骤:

[0105] 步骤S400、所述机械臂接收并执行所述控制指令,以将目标物体以目标姿态移动至目标位置。

- [0106] 具体地,当机械臂接收控制指令后,物理执行模块驱动机械臂执行控制指令。
- [0107] 在一种实现方式中,所述机械臂执行所述控制指令之前,还包括:
- [0108] 获取所述控制指令对应的先决条件,并确定所述机械臂是否满足所述先决条件,所述先决条件用于判断机械臂是否可执行对应的控制指令;
- [0109] 若所述机械臂满足所述先决条件,则确定所述机械臂可执行所述控制指令。
- [0110] 具体地,在机械臂执行控制指令之前,还需要进行先决条件的判断。举例说明,若控制指令是抓取动作,则在执行抓取之前,需要判断机械臂的夹爪是张开且没有夹取物体的状态。只有符合这个先决状态才可以执行抓取动作。本发明通过先决条件的判断,可以确保机械臂执行控制指令时处于安全、可执行的状态,避免了由于机械臂状态不当导致的控制指令无法完成。
- [0111] 在一种实现方式中,所述方法还包括:
- [0112] 在所述机械臂执行所述控制指令的同时,实时监测所述机械臂的实际状态,生成实际状态时序数据;
- [0113] 基于所述机械臂抓取目标物体的仿真预览,生成仿真状态时序数据;
- [0114] 计算每个时间步长内所述实际状态时序数据和所述仿真状态时序数据的差值,若每个时间步长的所述差值均在预设阈值内,则确定所述机械臂的实际状态和仿真状态一致;
- [0115] 若任一时间步长的所述差值超过预设阈值,则确定所述机械臂的实际状态和仿真状态不一致。
- [0116] 具体地,在机械臂执行控制指令的过程中,还会持续的利用目标AR设备监控机械臂的执行状态。当任一时间步长的所述差值超过预设阈值时,认为机械臂的实际状态和仿真状态不一致,此时触发相应的提示机制。在监测的过程中,目标AR设备和机械臂之间利用TCP/IP通信协议进行通信。
- [0117] 在执行控制指令时,机械臂基于设备元语执行,即依赖于一些列最小单位的硬件执行动作,如夹爪的开合、力传感器的采集数据,以及机械臂的关节运动等。近年来,数字孪生(DT)和增强现实(AR)技术在人机交互应用中迸发出活力。基于AR的机械臂编程模糊了传统在线编程和离线编程的界限,为无人机协作装配提供了沉浸式的自然交互接口。同时,数字孪生的集成使产品装配技术向虚实深度融合的智能化装配方向发展。然而,当前利用AR技术结合机械臂进行编程的方式,主要集中在低级设备元语执行层面,如控制基本的机械臂运动(平移和旋转)或夹爪操作(开合),精确度和灵活性都较差。本发明利用更高级的手势操纵目标物体三维分割模型的方式,去触发底层的设备元语执行,可实现更自然和灵活的控制,使机械臂的执行更符合人类思维方式和习惯。
- [0118] 同时,本发明的机械臂在末端执行器上设有力扭矩传感器,使得机械臂在执行操作时可通过力反馈感知来自主执行搜寻平面、搜寻孔径等操作。
- [0119] 在一种实现方式中,所述机械臂执行所述控制指令之后,还包括:
- [0120] 获取所述控制指令对应的后置条件,并确定所述机械臂在执行所述控制指令后是否满足所述后置条件,所述后置条件用于确定机械臂是否已完成控制指令并处于指定的目标状态;
- [0121] 若所述机械臂满足所述后置条件,则发送任务成功信息至所述目标AR设备。

[0122] 具体地,执行完指令后,还要进行后置条件检查。举例说明,若执行了抓取并移动目标物体的操作,则后置条件为夹爪是松开状态。此时表明任务已经完成,且可以继续进行下一次的操作。

[0123] 本发明的整体架构示意图如图8所示。本发明包括粗粒度人类视觉引导模块、细粒度机器人自主感知模块和数字孪生仿真和控制模块。在粗粒度人类视觉引导模块中,基于AR的空间交互接口,可进行目标物体的三维分割,使用户通过手势交互直观地指定物体的目标位姿、抓取策略和参考路径;在细粒度机器人自主感知模块,可进行位姿计算和路径规划;在数字孪生仿真和控制模块,先利用数字孪生仿真和预览模块生成仿真预览,当用户确认仿真预览后,生成控制指令,物理执行模块驱动机械臂执行。通过仿真预览,可提高操作的安全性,并驱动机械臂完成装配任务。在执行之前,进行先决条件检查。在执行过程中,基于设备元语句执行,并进行力反馈感知、数字孪生持续监控。在执行之后,进行后置条件检查。通过力反馈、位姿计算和路径规划,可实现高精度的现场自适应动作执行。本发明以多颗粒度融合的低代码编程方式,较大程度的减轻编程的工作量的同时,确保了机械臂对人类指导意图的更好理解,提高了人机协作装配编程的效率和灵活性。可较好的解决现有技术中,在线编程方法和离线编程方法在处理复杂任务时的局限性,以及目前AR编程只关注低级设备元语级别控制的局限性,较好的平衡了机械臂编程的直观性、安全性和效率。

[0124] 在一种实施例中,如图9所示,基于上述基于低代码编程的人机协作装配方法,本发明还相应提供了一种人机协作装配系统,包括:

[0125] 模型显示模块100,用于利用目标AR设备采集包含目标物体的目标场景,以生成目标物体对应的三维分割模型并在本设备显示;

[0126] 仿真预览模块200,用于获取所述三维分割模型的初始位姿信息,以及用户操控所述三维分割模型的手势信息,根据所述初始位姿信息和所述手势信息生成机械臂控制数据,并基于所述机械臂控制数据生成机械臂抓取目标物体的仿真预览;

[0127] 指令发送模块300,用于当接收到用户对所述仿真预览的确认信息后,所述目标AR设备基于所述机械臂控制数据生成控制指令,并将所述控制指令发送至机械臂;

[0128] 指令执行模块400,用于所述机械臂接收并执行所述控制指令,以将目标物体以目标姿态移动至目标位置。

[0129] 需要说明的是,前述对基于低代码编程的人机协作装配方法实施例的解释说明也适用于本实施例的人机协作装配系统,此处不再赘述。

[0130] 本发明实施例还提供一种计算机可读存储介质,上述计算机可读存储介质上存储有基于低代码编程的人机协作装配程序,上述基于低代码编程的人机协作装配程序被处理器执行时实现本发明实施例提供的任意一种基于低代码编程的人机协作装配方法的步骤。

[0131] 应理解,上述实施例中各步骤的序号大小并不意味着执行顺序的先后,各过程的执行顺序应以其功能和内在逻辑确定,而不应对本发明实施例的实施过程构成任何限定。

[0132] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为了描述的方便和简洁,仅以上述各功能单元、模块的划分进行举例说明,实际应用中,可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能单元、模块完成,即将上述装置的内部结构划分成不同的功能单元或模块,以完成以上描述的全部或者部分功能。实施例中的各功能单元、模块可以集成在一个处理单元中,也可以是各个单元单独物理存在,也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中,上述集成的

单元既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能单元的形式实现。另外，各功能单元、模块的具体名称也只是为了便于相互区分，并不用于限制本发明的保护范围。上述系统中单元、模块的具体工作过程，可以参考前述方法实施例中的对应过程，在此不再赘述。

[0133] 在上述实施例中，对各个实施例的描述都各有侧重，某个实施例中没有详述或记载的部分，可以参见其它实施例的相关描述。

[0134] 本领域普通技术人员可以意识到，结合本文中所公开的实施例描述的各实例的单元及算法步骤，能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟是以硬件还是软件方式来执行，取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同法来实现所描述的功能，但是这种实现不应认为超出本发明的范围。

[0135] 在本发明所提供的实施例中，应该理解到，所揭露的装置/终端设备和方法，可以通过其它的方式实现。例如，以上所描述的装置/终端设备实施例仅是示意性的，例如，上述模块或单元的划分，仅为一种逻辑功能划分，实际实现时可以由另外的划分方式，例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。

[0136] 以上所述实施例仅用以说明本发明的技术方案，而非对其限制；尽管参照前述实施例对本发明进行了详细的说明，本领域的普通技术人员应当理解；其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改，或者对其中部分技术特征进行等同替换；而这些修改或者替换，并不是相应技术方案的本质脱离本发明各实施例技术方案的精神和范围，均应包含在本发明的保护范围之内。

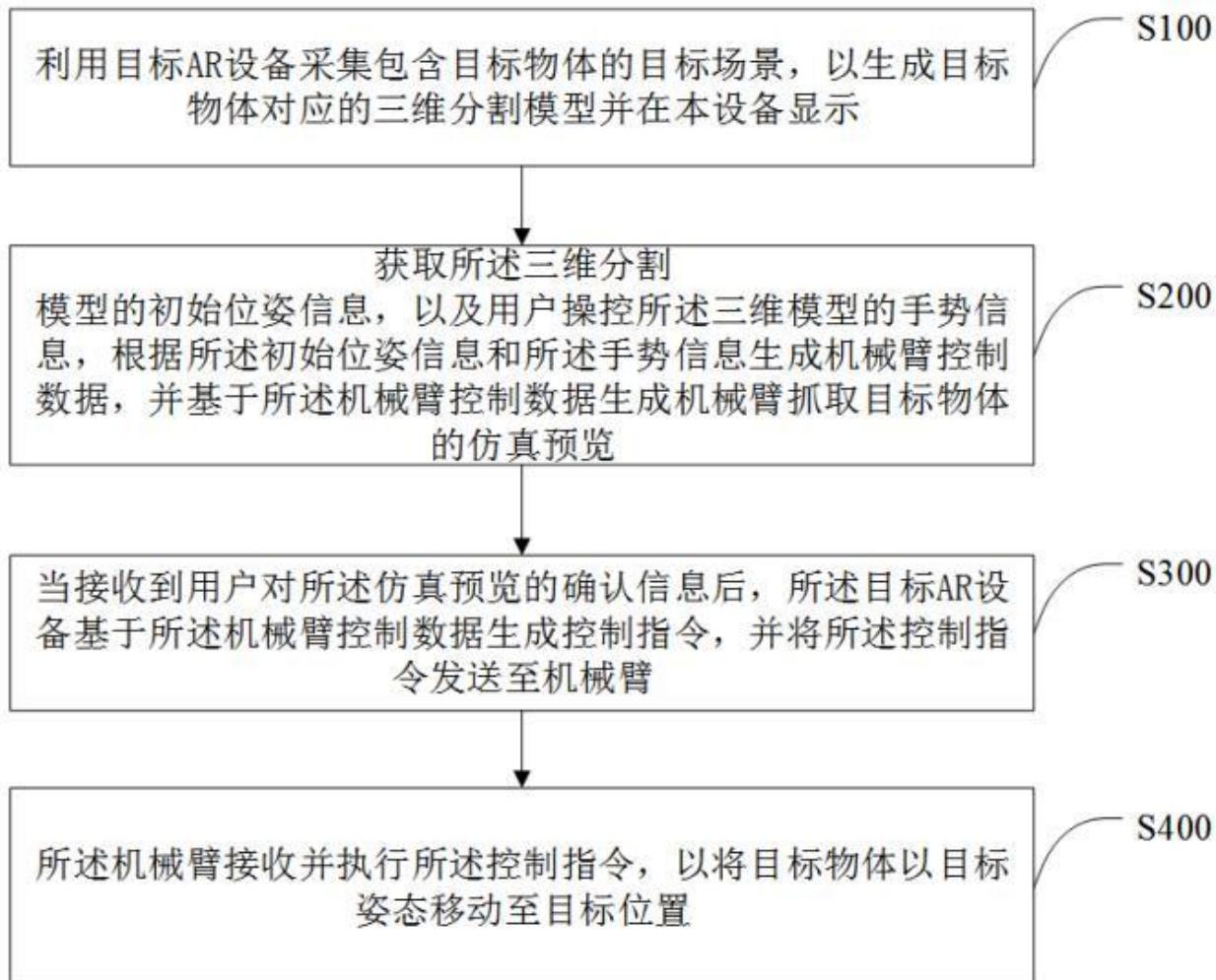


图 1

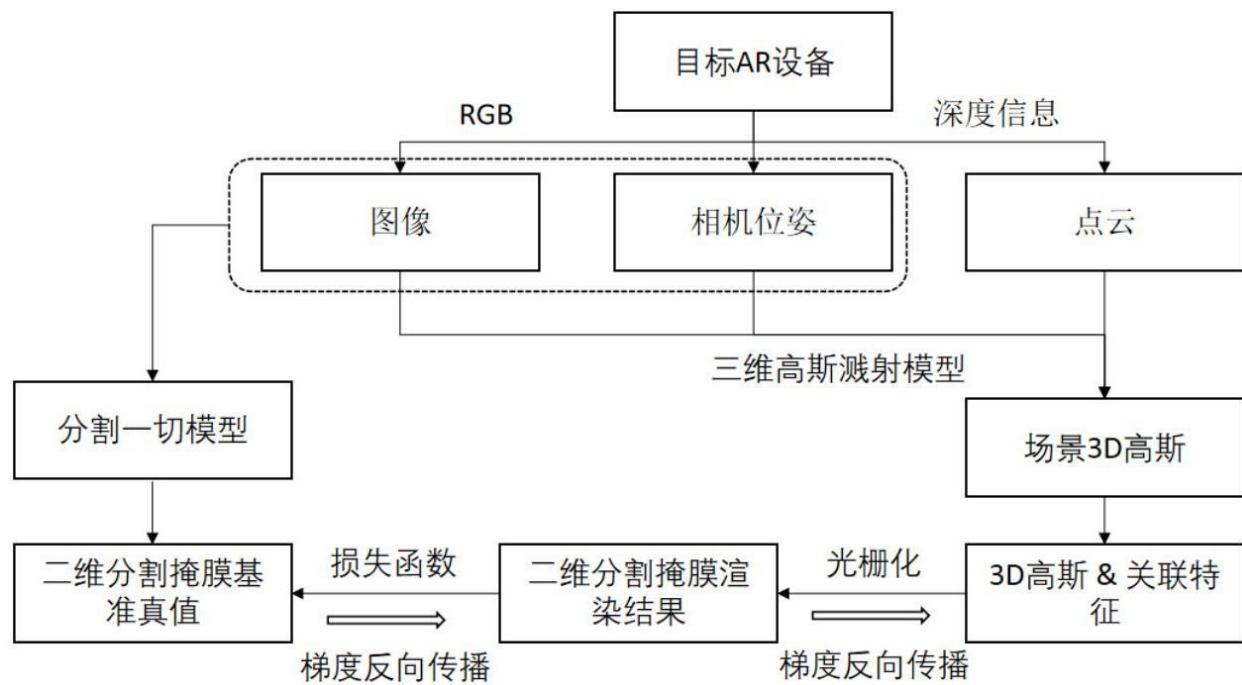


图 2

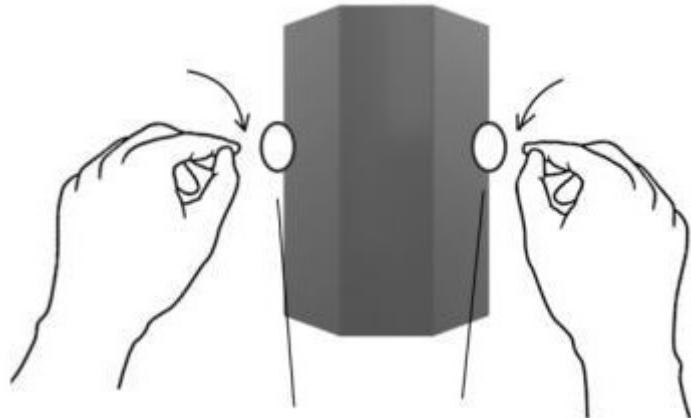


图 3



图 4



图 5



图 6

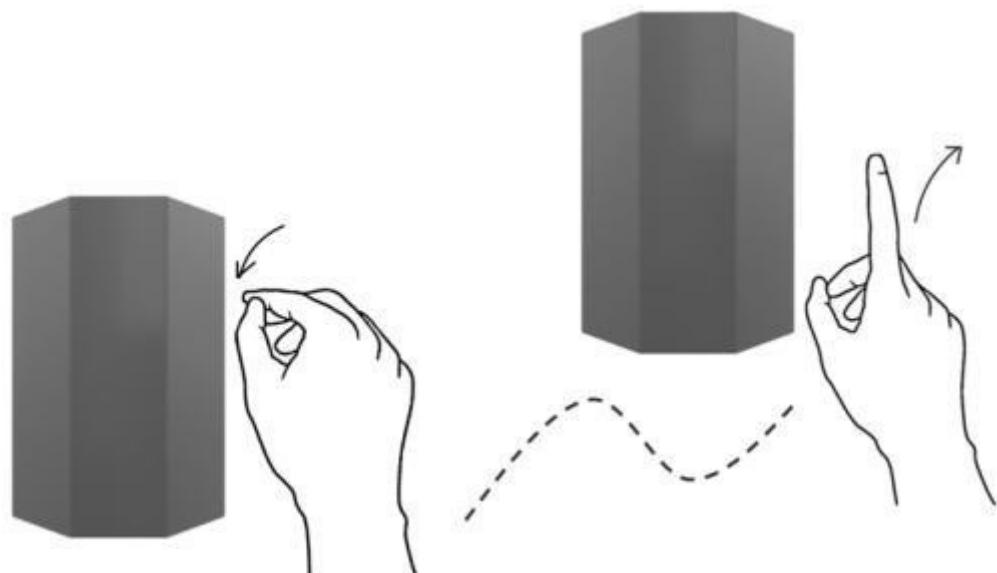


图 7

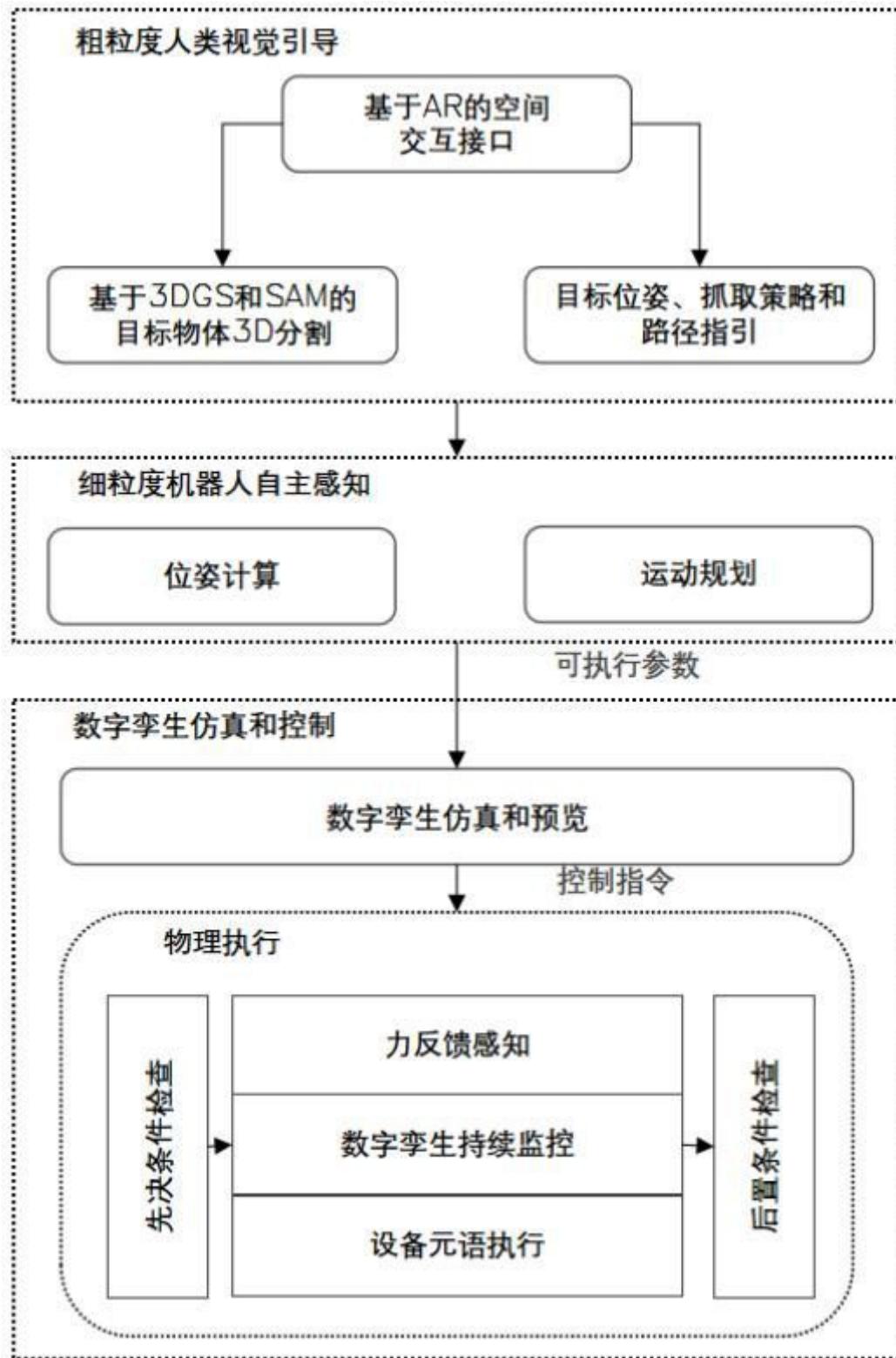


图 8

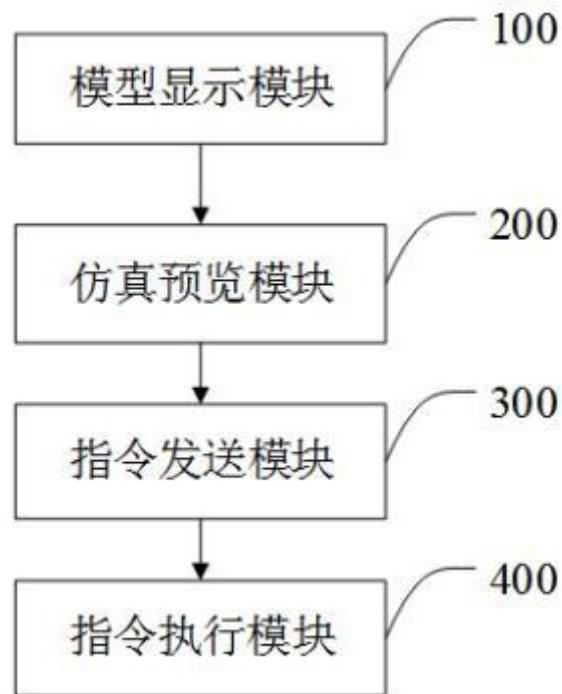


图 9