



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107351058 A

(43)申请公布日 2017. 11. 17

(21)申请号 201710431671.7

(22)申请日 2017.06.08

(71)申请人 华南理工大学

地址 510640 广东省广州市天河区五山路
381号

(72)发明人 杜广龙 张平 陈明轩

(74)专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限
公司 44102

代理人 何淑珍

(51) Int. Cl.

B25J 9/00(2006.01)

B25J 9/16(2006.01)

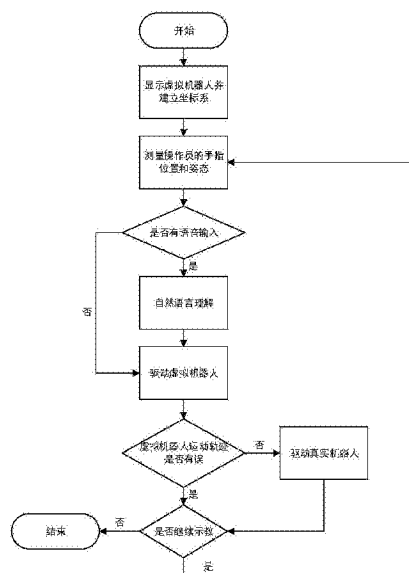
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

基于增强现实的机器人示教方法

(57)摘要

本发明提供了基于增强现实的机器人示教方法,该方法基于增强现实技术和自然人机交互技术,它允许操作者在真实场景中对利用增强现实设备显示的虚拟机器人进行快速示教和实时验证。包括步骤:(1)显示虚拟机器人并建立坐标系;(2)虚拟机器人示教;(3)驱动真实机器人。本发明使用了非接触式的人机接口,它可以获取操作者手部的位置和姿态以及操作者的语音指令,实时在虚拟机器人验证机器人运动轨迹,最后驱动真实机器人。



1. 基于增强现实的机器人示教方法,其特征在于,包括如下步骤:

S1、显示虚拟机器人并建立坐标系;

S2、虚拟机器人示教;

S3、驱动真实机器人。

2. 根据权利要求1所述的基于增强现实的机器人示教方法,其特征在于,所述步骤S1具体包括:

增强现实设备将虚拟机器人投影到真实机器人上,并与真实机器人重叠;

机器人基座、机器人关节、增强现实设备坐标系、人手坐标系均采用3个互相正交的轴来表示;机器人基座坐标系xOy平面为水平方向;z轴正方向为竖直向上;机器人关节i坐标系中 Z_{i-1} 轴位于按右手规则旋转轴方向; X_{i-1} 轴沿 Z_{i-1} 与 Z_i 公垂线方向;增强现实设备坐标系中 Z_L 轴为沿着操作者上方向; X_L 轴为沿着操作者右方向; Y_L 轴正方向为操作者前方向;人手坐标系中 Z_H 轴负方向为四指方向; X_H 轴方向垂直手背向上; Y_H 轴为拇指方向。

3. 根据权利要求1所述的基于增强现实的机器人示教方法,其特征在于,所述步骤S2包括以下步骤:

1) 位置和姿态模型

机器人采用Denavit-Hartenberg (D-H) 模型, A_i 表示从坐标系 $i-1$ 到坐标系 i 的齐次坐标变换矩阵,则有:

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \sin \alpha_i & l_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \sin \alpha_i & l_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & r_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中 θ_i 表示在坐标变换时绕 Z_{i-1} 旋转的角度,使得 X_{i-1} 和 X_i 相互平行; r_i 表示在坐标变换时沿 Z_{i-1} 平移的距离,使得 X_{i-1} 和 X_i 共线; l_i 表示在坐标变换时 X_{i-1} 平移的距离,使得 X_{i-1} 和 X_i 的原点重合; α_i 表示在坐标变换时 Z_{i-1} 绕 X_i 旋转的角度,使得 Z_{i-1} 和 Z_i 原点重合,方向一致;

对于一个具有六关节的虚拟机器人,从基座坐标系到第六个关节的齐次变换矩阵定义为:

$$T_6 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 \quad (2)$$

定义在 t 时刻虚拟机器人末端在关节空间的位置和姿态为:

$$X_t = [J_{1,t} \ J_{2,t} \ J_{3,t} \ J_{4,t} \ J_{5,t} \ J_{6,t}]^T \quad (3)$$

其中 $J_{i,t}$ 为 t 时刻虚拟机器人第 i 个关节角;

利用式(1),(2)对 T_6 进行逆运动学求解,得到初始时刻虚拟机器人各个关节角度值 X_0 ;

从机器人末端坐标系到人手坐标系的齐次变换矩阵定义为:

$$A_7 = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \sin \alpha_i & l_x \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \sin \alpha_i & l_y \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & l_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中向量 l 为人手与机器人末端的距离;

定义 Z_t 为 t 时刻人手的位置和姿态,有:

$$T_6 A_7 = Z_t \quad (5)$$

在示教过程中,虚拟机器人跟随操作者的手指运动,即在笛卡尔状态空间里虚拟机器人末端和人手的位姿一致,通过式(4)、(5)对 Z_t 进行逆运动学求解得到 X_t ,即 t 时刻虚拟机器人各个关节角;

2) 语音指令输入

操作者直接通过语音指令来对虚拟机器人进行微调操作,对语音进行识别,获取指令语句中的方向、操作、特征值、单位参数;对语音识别完毕后,进入意图理解部分;意图理解部分主要是将自然语言指令转化为对应的机器人控制指令;在对刚识别完的自然语言指令进行理解转化之前,要有一个最大熵分类模型,从训练语料库中提取文本特征,然后利用TF-IDF对文本特征进行特征向量加权,将文本表示为文本特征向量,有 n 个词就表示为 n 维特征向量;然后利用最大熵算法,对文本特征向量与对应的意图输出标签的条件概率进行建模,得到分布最均匀的模型,利用公式:

$$p^* = \frac{1}{Z(x)} \exp\left[\sum_{i=1}^n \lambda_i f_i(x, y)\right] \quad (6)$$

得到最大熵概率分布,从而完成最大熵建模,其中, $f_i(x, y)$ 为第 i 个特征函数,若文本向量与对应的输出标签出现在同一个样本中,则 $f_i(x, y)$ 等于1,否则为0; λ_i 为 $f_i(x, y)$ 对应的权值, $Z(x)$ 为归一化因子;最大熵分类模型建立之后,对文本特征向量进行分类,最后得到机器人控制指令,并转化为位置和姿态微调矩阵 T' :

$$T' = \begin{bmatrix} n'_x & o'_x & a'_x & p'_x \\ n'_y & o'_y & a'_y & p'_y \\ n'_z & o'_z & a'_z & p'_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

其中 $n'_x, n'_y, n'_z, o'_x, o'_y, o'_z, a'_x, a'_y, a'_z$ 分别是运动坐标系 $F_{n,o,a}$ 在参考坐标系 $F_{x,y,z}$ 三轴方向上的分量, p'_x, p'_y, p'_z 表示运动坐标系 $F_{n,o,a}$ 原点相对于参考坐标系 $F_{x,y,z}$ 的位置;特别地,若操作者没有进行语音指令输入,有:

$$T' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

定义 X'_t 为 t 时刻虚拟机器人末端的根据语音指令微调后的理想位置和姿态,有:

$$T_6A_7T' = Z'_t \quad (9)$$

其中 Z'_t 为 t 时刻根据语音指令微调后人手的位置和姿态;通过求解(7),(9),对 Z'_t 进行逆运动学求解得到 X'_t ;

根据 X'_t ,虚拟机器人可到达示教指定位置。

4. 根据权利要求1所述的基于增强现实的机器人示教方法,其特征在于,所述步骤S3具体包括:

虚拟机器人到达指定位置后,由操作者确认虚拟机器人运动轨迹是否所需示教轨迹,若满足示教需求,则驱动真实机器人完成由虚拟机器人规划的运动路径;先对虚拟机器人进行快速示教,避免对真实机器人的接触。

基于增强现实的机器人示教方法

技术领域

[0001] 本发明属于机器人运动领域,特别涉及一种基于增强现实的机器人示教方法。

背景技术

[0002] 针对在线示教过分依赖于实际环境和离线示教过分脱离实际环境,这篇发明提出了一种基于增强现实技术(Augmented Reality,AR)的机器人示教方法。该方法是综合在线示教和离线示教的一个折中的方法,其利用增强现实技术允许操作者在真实场景中对虚拟机器人进行快速示教和实时验证,即达到“所见即所得”效果。增强现实设备将虚拟机器人投影到真实机器人上,并与真实机器人重叠,操作者通过佩戴增强现实设备后只需要利用自然交互方式(三维手势和自然语言)对虚拟机器人进行快速示教,待示教完毕后真实机器人只需要重复虚拟机器人的动作即可完成对真实机器人的示教。该方法避免对真实机器人的接触,既提高示教效率的同时避免示教失败时对机器人或工件产生损害,又保证了操作者的安全。

发明内容

[0003] 这个发明提出了一种基于增强现实技术和自然人机交互技术的机器人在线示教方法,它允许操作者在真实场景中对利用增强现实设备显示的虚拟机器人进行快速示教和实时验证。本发明使用了非接触式的人机接口,它可以获取操作者手部的位置和姿态以及操作者的语音指令,实时在虚拟机器人验证机器人运动轨迹,最后驱动真实机器人。

[0004] 本发明包括如下步骤:

[0005] S1、显示虚拟机器人并建立坐标系;

[0006] S2、虚拟机器人示教;

[0007] S3、驱动真实机器人。

[0008] 所述步骤S1包括以下步骤:

[0009] 增强现实设备将虚拟机器人投影到真实机器人上,并与真实机器人重叠。

[0010] 机器人基座、机器人关节、增强现实设备坐标系、人手坐标系均采用3个互相正交的轴来表示。机器人基座坐标系 xOy 平面为水平方向; z 轴正方向为竖直向上。机器人关节 i 坐标系中 Z_{i-1} 轴位于按右手规则旋转轴方向; X_{i-1} 轴沿 Z_{i-1} 与 Z_i 公垂线方向。增强现实设备坐标系中 Z_L 轴为沿着操作者上方向; X_L 轴为沿着操作者右方向; Y_L 轴正方向为操作者前方向。人手坐标系中 Z_H 轴负方向为四指方向; X_H 轴方向垂直手背向上; Y_H 轴为拇指方向。

[0011] 所述步骤S2包括以下步骤:

[0012] 1) 位置和姿态模型

[0013] 机器人采用Denavit-Hartenberg(D-H)模型, A_i 表示从坐标系 $i-1$ 到坐标系 i 的齐次坐标变换矩阵,则有:

$$[0014] \quad A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \sin \alpha_i & l_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \sin \alpha_i & l_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & r_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0015] 其中 θ_i 表示在坐标变换时绕 Z_{i-1} 旋转的角度,使得 X_{i-1} 和 X_i 相互平行; r_i 表示在坐标变换时沿 Z_{i-1} 平移的距离,使得 X_{i-1} 和 X_i 共线; l_i 表示在坐标变换时 X_{i-1} 平移的距离,使得 X_{i-1} 和 X_i 的原点重合; α_i 表示在坐标变换时 Z_{i-1} 绕 X_i 旋转的角度,使得 Z_{i-1} 和 Z_i 原点重合,方向一致。

[0016] 对于一个具有六关节的虚拟机器人,从基座坐标系到第六个关节的齐次变换矩阵定义为:

$$[0017] \quad T_6 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 A_6 \quad (2)$$

[0018] 定义在 t 时刻虚拟机器人末端在关节空间的位置和姿态为:

$$[0019] \quad X_t = [J_{1,t} \ J_{2,t} \ J_{3,t} \ J_{4,t} \ J_{5,t} \ J_{6,t}]^T \quad (3)$$

[0020] 其中 J_i 为机器人第 i 个关节角;

[0021] 利用式(1), (2)对 T_6 进行逆运动学求解,得到初始时刻虚拟机器人各个关节角度值 X_0 ;

[0022] 从机器人末端坐标系到人手坐标系的齐次变换矩阵定义为:

$$[0023] \quad A_7 = \begin{bmatrix} \cos \theta_7 & -\sin \theta_7 \cos \alpha_7 & \sin \theta_7 \sin \alpha_7 & l_x \\ \sin \theta_7 & \cos \theta_7 \cos \alpha_7 & -\cos \theta_7 \sin \alpha_7 & l_y \\ 0 & \sin \alpha_7 & \cos \alpha_7 & l_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

[0024] 其中向量 l 为人手与机器人末端的距离;

[0025] 定义 Z_t 为 t 时刻人手的位置和姿态,有:

$$[0026] \quad T_6 A_7 = Z_t \quad (5)$$

[0027] 在示教过程中,虚拟机器人跟随操作者的手指运动,即在笛卡尔状态空间里虚拟机器人末端和人手的位姿一致,通过(4), (5)对 Z_t 进行逆运动学求解得到 X_t ,即 t 时刻虚拟机器人各个关节角。

[0028] 2) 语音指令输入

[0029] 操作者直接通过语音指令来对虚拟机器人进行微调操作,对语音进行识别,获取指令语句中的方向,操作,特征值,单位等参数。对语音识别完毕后,进入意图理解部分。该部分主要是将自然语言指令转化为对应的机器人控制指令。在对刚识别完的自然语言指令进行理解转化之前,要有一个最大熵分类模型,从训练语料库中提取文本特征,然后利用TF-IDF对文本特征进行特征向量加权,将文本表示为文本特征向量,有 n 个词就表示为 n 维特征向量。然后利用最大熵算法,对文本特征向量与对应的意图输出标签的条件概率进行建模,得到分布最均匀的模型,利用公式:

$$[0030] \quad p^* = \frac{1}{Z(x)} \exp\left[\sum_{i=1}^n \lambda_i f_i(x, y)\right] \quad (6)$$

[0031] 得到最大熵概率分布,从而完成最大熵建模。其中, $f_i(x, y)$ 为第 i 个特征函数,若文本向量与对应的输出标签现在同一个样本中,则 $f_i(x, y)$ 等于1,否则为0。 λ_i 为 $f_i(x, y)$ 对应的权值, $Z(x)$ 为归一化因子。最大熵分类模型建立之后,对文本特征向量进行分类,最后

得到机器人控制指令,并转化为位置和姿态微调矩阵 T' :

$$[0032] \quad T' = \begin{bmatrix} n'_x & o'_x & a'_x & p'_x \\ n'_y & o'_y & a'_y & p'_y \\ n'_z & o'_z & a'_z & p'_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

[0033] 特别低,若操作者没有进行语音指令输入,有:

$$[0034] \quad T' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

[0035] 定义 X_t' 为t时刻虚拟机器人末端的根据语音指令微调后的理想位置和姿态,有:

$$[0036] \quad T_{6A7}T' = Z_t' \quad (9)$$

[0037] 通过求解(7),(9),对 Z_t' 进行逆运动学求解得到 X_t' 。

[0038] 根据 X_t' ,虚拟机器人可到达示教指定位置。

[0039] 所述步骤S3包括以下步骤:

[0040] 虚拟机器人到达指定位置后,由操作者确认虚拟机器人运动轨迹是否所需示教轨迹,若满足示教需求,则驱动真实机器人完成由虚拟机器人规划的运动路径;先对虚拟机器人进行快速示教,避免对真实机器人的接触,既提高示教效率的同时避免示教失败时对机器人或工件产生损害,又保证了操作者的安全。

[0041] 本发明相对于现有技术具有如下的优点及效果:

[0042] 本发明提出了一种使用增强现实设备对虚拟机器人示教完成后再驱动真实机器人的方法。这种基于增强现实的接口允许操作者移动手势和语音控制机器人达到所需位姿。且示教方法先驱动的是虚拟机器人,运动速度可超过真实机器人以加快示教过程,同时示教失败时不会对机器人或工件产生损害,也不会与操作者发生物理接触。

附图说明

[0043] 图1是基于增强现实的机器人示教方法流程图;

[0044] 图2是机器人、增强现实设备、人手坐标系示意图;

[0045] 图3是具体实施例子示意图。

具体实施方式

[0046] 下面结合实施例对本发明作进一步详细的描述,但本发明的实施方式不限于此实施例。本发明包括如下步骤:

[0047] S1、显示虚拟机器人并建立坐标系;

[0048] S2、虚拟机器人示教;

[0049] S3、驱动真实机器人。

[0050] 所述步骤S1包括以下步骤:

[0051] 增强现实设备HoloLens将虚拟机器人投影到真实机器人上,并与真实机器人重叠。

[0052] 机器人基座、机器人关节、增强现实设备坐标系、人手坐标系均采用3个互相正交的轴来表示。机器人基座坐标系xOy平面为水平方向；z轴正方向为竖直向上。机器人关节i坐标系中 Z_{i-1} 轴位于按右手规则旋转轴方向； X_{i-1} 轴沿 Z_{i-1} 与 Z_i 公垂线方向。增强现实设备坐标系中 Z_L 轴为沿着操作者上方向； X_L 轴为沿着操作者右方向； Y_L 轴正方向为操作者前方向。人手坐标系中 Z_H 轴负方向为四指方向； X_H 轴方向垂直手背向上； Y_H 轴为拇指方向，见图2。

[0053] 所述步骤S2包括以下步骤：

[0054] 1) 位置和姿态模型

[0055] 机器人采用Denavit-Hartenberg (D-H) 模型， A_i 表示从坐标系i-1到坐标系i的齐次坐标变换矩阵，则有：

$$[0056] \quad A_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \alpha_i & \sin \theta_i \sin \alpha_i & l_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos \alpha_i & -\cos \theta_i \sin \alpha_i & l_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & r_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0057] 其中 θ_i 表示在坐标变换时绕 Z_{i-1} 旋转的角度，使得 X_{i-1} 和 X_i 相互平行； r_i 表示在坐标变换时沿 Z_{i-1} 平移的距离，使得 X_{i-1} 和 X_i 共线； l_i 表示在坐标变换时 X_{i-1} 平移的距离，使得 X_{i-1} 和 X_i 的原点重合； α_i 表示在坐标变换时 Z_{i-1} 绕 X_i 旋转的角度，使得 Z_{i-1} 和 Z_i 原点重合，方向一致。

[0058] 对于一个具有六关节的虚拟机器人，从基座坐标系到第六个关节的齐次变换矩阵定义为：

$$[0059] \quad T_6 = A_1 A_2 \dots A_6 \quad (2)$$

[0060] 在本次实例中对于一个具有六关节的机器人，D-H参数选用如下：

$$[0061] \quad \theta = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]^T \quad (3)$$

$$[0062] \quad r = [250 \ 0 \ 0 \ 650 \ 0 \ -200]^T \quad (4)$$

$$[0063] \quad l = [150 \ 570 \ 150 \ 0 \ 0 \ 0]^T \quad (5)$$

$$[0064] \quad \alpha = \left[-\frac{\pi}{2} \quad -\pi \quad \frac{\pi}{2} \quad -\frac{\pi}{2} \quad -\frac{\pi}{2} \quad 0 \right]^T \quad (6)$$

[0065] 定义在t时刻虚拟机器人末端在关节空间的位置和姿态为：

$$[0066] \quad X_t = [J_{1,t} \ J_{2,t} \ J_{3,t} \ J_{4,t} \ J_{5,t} \ J_{6,t}]^T \quad (7)$$

[0067] 其中 J_i 为机器人第i个关节角。

[0068] 在本次实例中，利用式(1)，(2)对 T_6 进行逆运动学求解，得到初始时刻虚拟机器人各个关节角度值 X_0 ：

$$[0069] \quad X_0 = \left[\frac{\pi}{2} \quad -\frac{\pi}{2} \quad 0 \quad 0 \quad \frac{\pi}{2} \quad 0 \right]^T \quad (8)$$

[0070] 从机器人末端坐标系到人手坐标系的齐次变换矩阵定义为：

$$[0071] \quad A_l = \begin{bmatrix} \cos \theta_l & -\sin \theta_l \cos \alpha_l & \sin \theta_l \sin \alpha_l & l_x \\ \sin \theta_l & \cos \theta_l \cos \alpha_l & -\cos \theta_l \sin \alpha_l & l_y \\ 0 & \sin \alpha_l & \cos \alpha_l & l_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

[0072] 其中向量 l 为人手与虚拟机器人末端的距离，在本次实例中人手与虚拟机器人末端在x轴距离为200毫米，y轴与z轴相对距离为0，手指与末端执行器方向一致，有；

$$[0073] \quad A_7 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 200 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

[0074] 定义 Z_t 为 t 时刻人手的位置和姿态,有:

$$[0075] \quad T_6A_7 = Z_t \quad (11)$$

[0076] 在示教过程中,虚拟机器人跟随操作者的手指运动,即在笛卡尔状态空间里虚拟机器人末端和人手的位姿一致,通过(10), (11)对 Z_t 进行逆运动学求解得到 X_t ,即 t 时刻虚拟机器人各个关节角。

[0077] 2) 语音指令输入

[0078] 操作者直接通过语音指令来对虚拟机器人进行微调操作,对语音进行识别,获取指令语句中的方向,操作,特征值,单位等参数。对语音识别完毕后,进入意图理解部分。该部分主要是将自然语言指令转化为对应的机器人控制指令。在对刚识别完的自然语言指令进行理解转化之前,要有一个最大熵分类模型,从训练语料库中提取文本特征,然后利用TF-IDF对文本特征进行特征向量加权,将文本表示为文本特征向量,有 n 个词就表示为 n 维特征向量。然后利用最大熵算法,对文本特征向量与对应的意图输出标签的条件概率进行建模,得到分布最均匀的模型,利用公式:

$$[0079] \quad p^* = \frac{1}{Z(x)} \exp\left[\sum_{i=1}^n \lambda_i f_i(x, y)\right] \quad (12)$$

[0080] 得到最大熵概率分布,从而完成最大熵建模。其中, $f_i(x, y)$ 为第 i 个特征函数,若文本向量与对应的输出标签现在同一个样本中,则 $f_i(x, y)$ 等于1,否则为0。 λ_i 为 $f_i(x, y)$ 对应的权值, $Z(x)$ 为归一化因子。最大熵分类模型建立之后,对文本特征向量进行分类,最后得到机器人控制指令,并转化为位置和姿态微调矩阵 T' ,在本实例中,语音指令为 y 方向平移3毫米,有:

$$[0081] \quad T' = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

[0082] 定义 X_t' 为 t 时刻虚拟机器人末端的根据语音指令微调后的理想位置和姿态,有:

$$[0083] \quad T_6A_7T' = Z_t' \quad (14)$$

[0084] 通过求解(13), (14),对 Z_t' 进行逆运动学求解得到 X_t' 。

[0085] 根据 X_t' ,虚拟机器人可到达示教指定位置。

[0086] 所述步骤S3包括以下步骤:

[0087] 虚拟机器人到达指定位置后,由操作者确认虚拟机器人运动轨迹是否所需示教轨迹,若满足示教需求,则驱动真实机器人完成由虚拟机器人规划的运动路径。

[0088] 本次实例中示意图3,图中包括真实机器人1、虚拟机器人2、AR眼睛3、操作者4。

[0089] 上述实施例为本发明较佳的实施方式,但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制,其他的任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化,均应为等效的置换方式,都包含在本发明的保护范围之内。

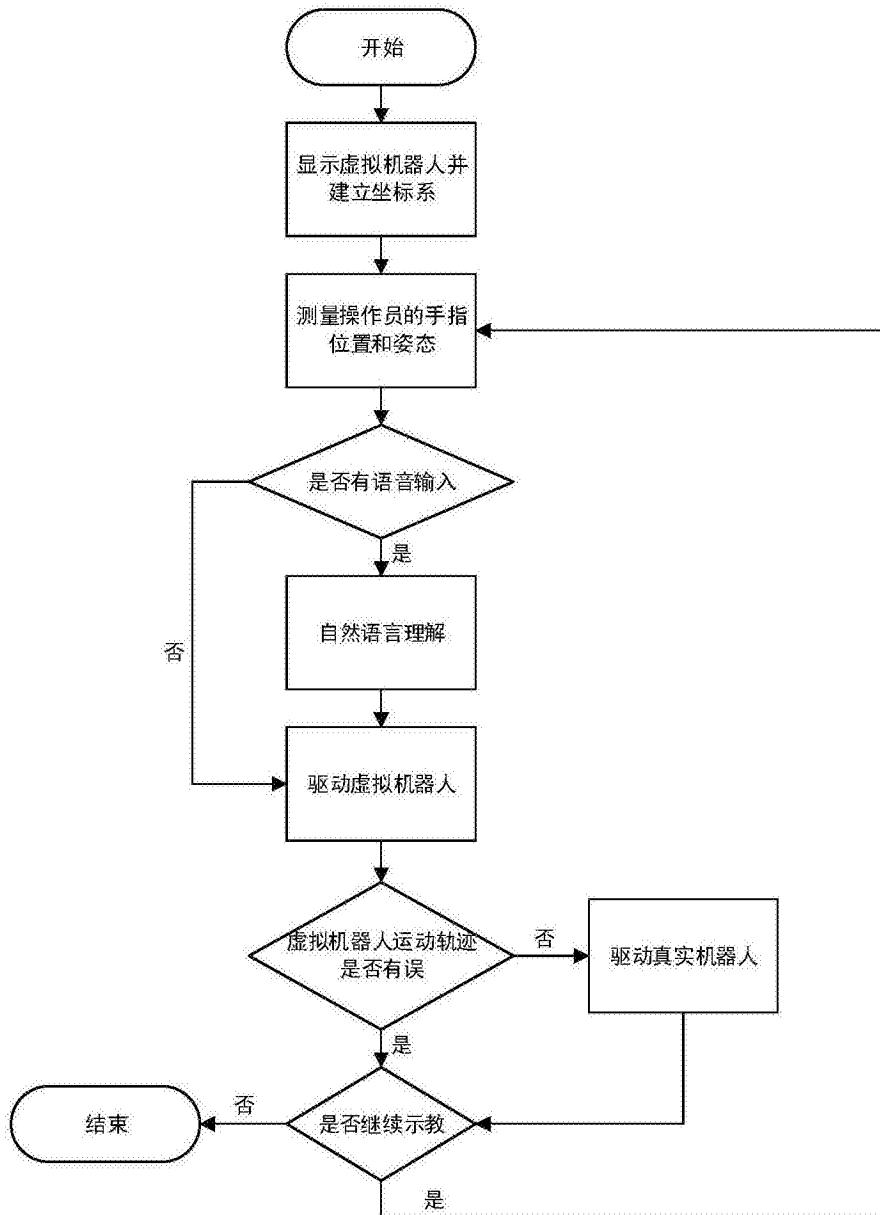


图1

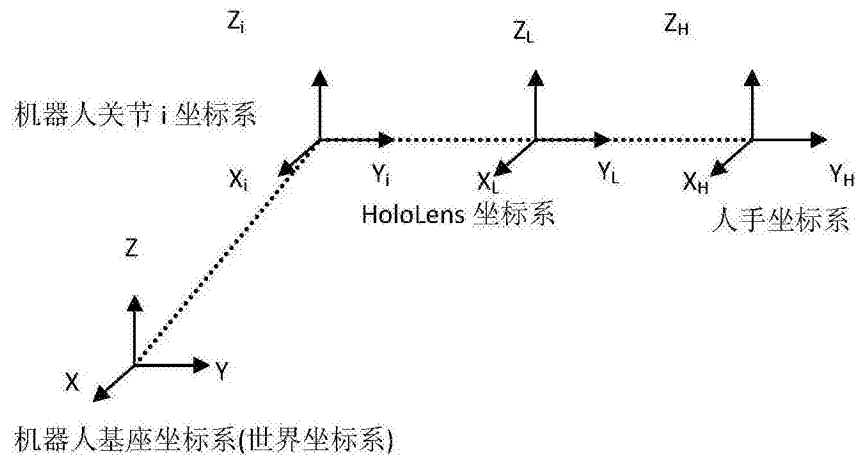


图2

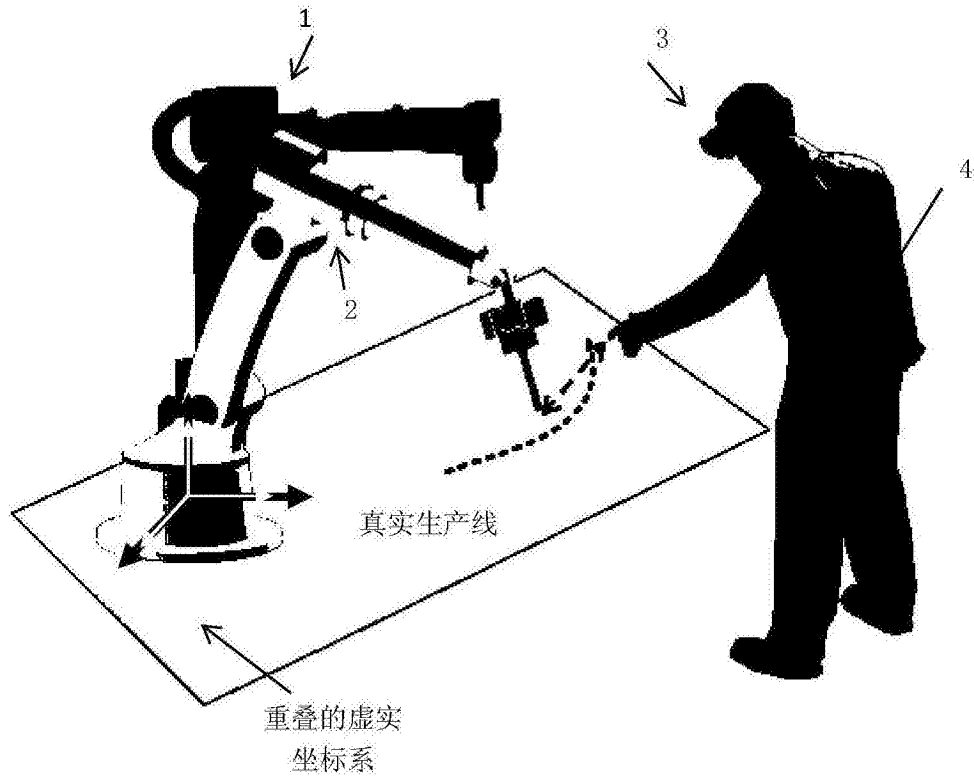


图3