

一种基于单目视觉定位的机械臂控制方法及装置

本申请要求于2020年4月28日提交中国专利局、申请号为202010349776.X,发明名称为“一种基于单目视觉定位的机械臂控制方法及装置”的中国专利申请的优先权,其全部内容通过引用结合在本申请中。

5 技术领域

本申请涉及一种机器视觉技术领域,特别是涉及一种基于单目视觉定位的机械臂控制方法及装置。

背景技术

10 随着智能化水平的提高与机器人使用的普及,基于机器视觉的机械臂移动控制受到广泛关注。基于机械视觉的机械臂移动控制是通过机器视觉获取目标定位,然后控制机械臂末端移动到目标物体执行抓取等相关操作。

发明人意识到,目前普遍采用的机器视觉定位方法为双目视觉定位方法,即利用两个距离一定的单目摄像机采集图像,通过图像处理手段获取两单目摄像机图像中匹配点对之间的距离(即视差),然后结合视差与深度信息之间的对应关系,可获取目标物体距离信息,再结合距离与焦距,进一步获得X和Y方向的坐标信息。但是,该方法使用摄像机较多,造成定位系统复杂,不易操作,降低定位效率。

15 发明内容

20 鉴于此,本申请提供一种基于单目视觉定位的机械臂控制方法及装置,主要目的在于解决现有技术中双目视觉定位方法使用摄像机较多,造成定位系统复杂,不易操作,降低定位效率的问题。

依据本申请一个方面,提供了一种应用于单目视觉定位的机械臂控制系统,所述系统包括机械臂及安装在所述机械臂末端的单目像机,其中,包括:

25 建立像素坐标系、相机坐标系和世界坐标系;获取目标物体的目标点在所述像素坐标系中的像素坐标、相机内参数矩阵、相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵;根据所述目标点的像素坐标、相机的内参数矩阵、所述相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵,得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量;根据所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵和所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量,得到视线直线方程;在所述世界坐标系中,获取所述目标点所在平面的平面方程;根据所述视线直线方程及所述平面方程,得到所述目标点的世界坐标;根据所述目标点的世界坐标,控制所述机械臂按照预设策略对物体进行操作。

30 依据本申请另一个方面,提供了一种基于单目视觉定位的机械臂控制装置,包括:坐标系构建模块,用于建立像素坐标系、相机坐标系和世界坐标系;第一获取模块,用于获取目标物体的目标点在所述像素坐标系中的像素坐标、相机内参数矩阵、相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵;视线向量确定模块,用于根据所述目标点的像素坐标、相机的内参数矩阵、所述相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵,得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量;视线直线方程确定模块,用于根据所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵和所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量,得到视线直线方程;第二获取模块,用于在所述世界坐标系中,获取所述目标点所在平面的平面方程;世界坐标确定模块,用于根据所述视线直线方程及所述平面方程,得到所述目标点的世界坐标;控制模块,用于根据所述目标点的世界坐标,控制所述机械臂按照预设策略对物体进行操作。

40 根据本申请的又一方面,提供了一种存储介质,所述存储介质中存储有至少一可执行指令,所述可执行指令使处理器执行以下操作:

建立像素坐标系、相机坐标系和世界坐标系；获取目标物体的目标点在所述像素坐标系中的像素坐标、相机内参数矩阵、相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵；根据所述目标点的像素坐标、相机的内参数矩阵、所述相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵，得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量；根据所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵和所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量，得到视线直线方程；在所述世界坐标系中，获取所述目标点所在平面的平面方程；根据所述视线直线方程及所述平面方程，得到所述目标点的世界坐标；根据所述目标点的世界坐标，控制所述机械臂按照预设策略对物体进行操作。

根据本申请的再一方面，提供了一种计算机设备，包括：处理器、存储器、通信接口和通信总线，所述处理器、所述存储器和所述通信接口通过所述通信总线完成相互间的通信；所述存储器用于存放至少一可执行指令，所述可执行指令使所述处理器执行以下步骤：

建立像素坐标系、相机坐标系和世界坐标系；获取目标物体的目标点在所述像素坐标系中的像素坐标、相机内参数矩阵、相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵；根据所述目标点的像素坐标、相机的内参数矩阵、所述相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵，得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量；根据所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵和所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量，得到视线直线方程；在所述世界坐标系中，获取所述目标点所在平面的平面方程；根据所述视线直线方程及所述平面方程，得到所述目标点的世界坐标；根据所述目标点的世界坐标，控制所述机械臂按照预设策略对物体进行操作。

本申请实施例无需两个单目摄像机，简化定位系统，操作简单，且不涉及图像特征点的匹配和最优距离的测算，简化处理算法，降低对硬件设备的要求。

附图说明

图 1 示出了本申请实施例提供的一种基于单目视觉定位的机械臂控制方法的流程图；

图 2 示出了本申请实施例提供的另一种基于单目视觉定位的机械臂控制方法的流程图；

图 3 示出了本申请实施例的应用场景图；

图 4 示出了本申请实施例提供的一种基于单目视觉定位的机械臂控制方法装置组成框图；

图 5 示出了本申请实施例提供的另一种基于单目视觉定位的机械臂控制方法装置组成框图；

图 6 示出了本申请实施例提供的一种计算机设备的结构示意图。

具体实施方式

下面将参照附图更详细地描述本公开的示例性实施例。虽然附图中显示了本公开的示例性实施例，然而应当理解，可以以各种形式实现本公开而不应被这里阐述的实施例所限制。相反，提供这些实施例是为了能够更透彻地理解本公开，并且能够将本公开的范围完整的传达给本领域的技术人员。

本申请的技术方案可应用于人工智能和/或智慧城市技术领域，涉及计算机视觉技术，基于本申请的机器视觉定位的机械臂控制方案，有助于简化定位效果，提升定位效率，实现智慧生活。

本申请实施例提供了一种基于单目视觉定位的机械臂控制方法，应用于单目视觉定位的机械臂控制系统，系统包括机械臂及安装在机械臂末端的单目像机，如图 1 所示，该方法包括：

步骤 101: 建立像素坐标系、机械臂末端相机坐标系和世界坐标系。

其中, 世界坐标系可以根据目标物体的实际位置进行构建。相机坐标系的建立为在空间中, 以将单目相机的光心, 即单目像机的光轴中心确定为相机坐标系的原点, Z_C 轴与相机光轴重合, 并且垂直于成像平面, 且取摄影方向为正方向, 从而建立相机坐标系 $O_C-X_C Y_C Z_C$ 。相机坐标系的建立为在单目相机采集的图像平面上, 可以图像平面左上角顶点确定为像坐标系的原点, 以水平线和竖直线分别确定为 u 轴和 v 轴, 从而建立像素坐标系, 像素坐标系以像素点数量为坐标系单位。

步骤 102: 获取目标物体的目标点在像素坐标系中的像素坐标、相机内参数矩阵、相机外参数矩阵和机械臂末端相对于世界坐标系的齐次变换矩阵。

10 目标物体为机械臂所操作的物体, 目标点为目标物体上的特定点, 一般为目标物体的中心点。相机内参数矩阵和相机外参数矩阵可由相机标定获得。

步骤 103: 根据目标点的像素坐标、相机的内参数矩阵、相机外参数矩阵和机械臂末端相对于世界坐标系的齐次变换矩阵, 得到目标点相对于世界坐标系的视线向量。

15 步骤 104: 相机坐标系相对于世界坐标系的齐次变换矩阵和目标点相对于世界坐标系的视线向量, 得到视线直线方程。

步骤 105: 在世界坐标系中, 获取目标点所在平面的平面方程。

步骤 106: 根据视线直线方程及平面方程, 得到目标点的世界坐标。

步骤 107: 根据目标点的世界坐标, 控制机械臂按照预设策略对物体进行操作。

20 本申请实施例提供了一种基于单目视觉定位的机械臂控制方法, 首先获取目标物体的目标点在像素坐标系下的像素坐标, 然后利用相机坐标系相对于机械臂末端的齐次变换矩阵及机械臂末端相对于世界坐标系的齐次变换矩阵进行转换, 得到视线直线方程, 最后在世界坐标系中, 获取目标点所在平面的平面方程, 并通过视线直线方程及平面方程, 得到目标点的世界坐标, 因此, 与现有技术相比, 本申请实施例无需两个单目摄像头, 简化定位系统, 操作简单, 且不涉及图像特征点的匹配和最优距离的测算, 简化处理算法, 降低对硬件设备的要求。

25 本申请实施例提供了另一种基于单目视觉定位的机械臂控制方法, 应用于单目视觉定位的机械臂控制系统, 系统包括机械臂及安装在机械臂末端的单目像机, 如图 2 所示, 该方法包括:

步骤 201: 建立像素坐标系、机械臂末端相机坐标系和世界坐标系。

30 其中, 世界坐标系可以根据目标物体的实际位置进行构建, 以图 3 为例, 目标物体为茶杯, 茶杯放置在工作台上, 世界坐标系的 X 轴和 Y 轴所形成的平面与工作台上表面相平行, 世界坐标系的 Z 轴与工作台上表面相垂直, 即坐标系 $O_b-X_b Y_b Z_b$ 。

相机坐标系的建立为在空间中, 以将单目相机的光心, 即单目像机的光轴中心确定为相机坐标系的原点, Z_C 轴与相机光轴重合, 并且垂直于成像平面, 且取摄影方向为正方向,

35 从而建立相机坐标系 $O_C-X_C Y_C Z_C$ 。相机坐标系的建立为在单目相机采集的图像平面上, 可以图像平面左上角顶点确定为像坐标系的原点, 以水平线和竖直线分别确定为 u 轴和 v 轴, 从而建立像素坐标系, 像素坐标系以像素点数量为坐标系单位。

步骤 202: 获取目标物体的目标点在像素坐标系中的像素坐标、相机内参数矩阵、相机外参数矩阵和机械臂末端相对于世界坐标系的齐次变换矩阵。

40 其中, 目标物体为机械臂所操作的物体, 目标点为目标物体上的特定点, 一般为目标

物体的中心点,以图3为例,目标物体为茶杯,并且将茶杯的杯口的中心点确定为目标点。

- 相机内参数矩阵和相机外参数矩阵可由单目相机采集多个标定板的图像,利用图像集对单目相机进行标定而得。具体地标定过程为:将单目相机对焦到棋盘格标定板上,棋盘格尺寸已知,通过不同角度对标定板进行拍摄,提取每个标定板图像中标定板的角点在图像中的像素位置,然后根据标定板的角点在图像中的像素位置和标定板的参数,然后利用张氏标定法进行相机标定,得到相机内参数矩阵。

目标物体为机械臂所操作的物体,目标点为目标物体上的特定点,一般为目标物体的中心点。相机内参数矩阵可由相机标定获得。

步骤 203: 根据目标点的像素坐标和相机的内参数矩阵,得到目标点在相机坐标系下

- 10 的三维坐标表达式,目标点在相机坐标系下的三维坐标表达式为 $s \begin{bmatrix} \mu \\ \nu \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & \alpha \\ 0 & f_y & \beta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$, 其

中, $\begin{bmatrix} \mu \\ \nu \\ 1 \end{bmatrix}$ 为目标点的像素坐标, s 为齐次变换匹配系数, $\begin{bmatrix} f_x & 0 & \alpha \\ 0 & f_y & \beta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为相机内参数矩阵, f_x 为像素平面 X 轴的焦距系数, f_y 为像素平面 y 轴的焦距系数, α 为像素平面 x 轴的偏移

量, β 为像素平面 y 轴的偏移量, $\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$ 为目标点在相机坐标系下的三维坐标。

- 15 步骤 204: 根据目标点在相机坐标系下的三维坐标表达式,得到目标点相对于相机坐标系的视线向量,视线向量为

$$\begin{bmatrix} \gamma_c^x \\ \gamma_c^y \\ \gamma_c^z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu/f_x \\ \sqrt{\left(\frac{\mu}{f_x}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{f_y}\right)^2 + 1} \\ \nu/f_y \\ \sqrt{\left(\frac{\mu}{f_x}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{f_y}\right)^2 + 1} \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix},$$

其中, γ_c^x 为目标点在相机坐标系 X 轴的投影值, γ_c^y 为目标点在相机坐标系 y 轴的投影值, γ_c^z 为目标点在相机坐标系 z 轴的投影值, f_x 为像素平面 X 轴的焦距系数, f_y 为像素平面 y 轴的焦距系数, μ 和 ν 为目标点的像素坐标。

- 20 步骤 205: 根据相机外参数矩阵、机械臂末端相对于世界坐标系的齐次变换矩阵,按

照如下公式，得到相机坐标系相对于世界坐标系的齐次变换矩阵；

$$H_w^c = H_w^e \times H_c^c;$$

其中， H_w^c 为相机坐标系相对于世界坐标系的齐次变换矩阵， H_w^e 为机械臂末端相对于世界坐标系的齐次变换矩阵， H_c^c 为相机外部参数矩阵。

- 5 机械臂末端相对于世界坐标系的齐次变换矩阵 H_w^e 可基于机械臂运动学求解而得。机械臂运动学根据已知机械臂的各个关节角，计算机械臂末端相对于世界坐标系的位姿。具体地，机械臂运动学建模采用D-H四参数法，D-H四参数法是一种建立相对位姿的矩阵方法。利用齐次变换描述各个连杆相对于固定参考坐标系的空间几何关系，用一个4×4的齐次变换矩阵描述相邻两连杆的空间关系，推导出机械臂末端相对于世界坐标系的齐次变换
- 10 矩阵 H_w^e 。

步骤 206：根据相机坐标系相对于世界坐标系的齐次变换矩阵及目标点相对于相机坐标系的视线向量，按照如下公式，得到目标点相对于世界坐标系的视线向量；

$$\begin{bmatrix} r_w^x \\ r_w^y \\ r_w^z \\ 1 \end{bmatrix} = H_w^c \begin{bmatrix} r_c^x \\ r_c^y \\ r_c^z \\ 1 \end{bmatrix},$$

其中， $\begin{bmatrix} r_w^x \\ r_w^y \\ r_w^z \\ 1 \end{bmatrix}$ 为目标点相对于世界坐标系的视线向量， r_w^x 为目标点在世界坐标系x轴的

- 15 投影值， r_w^y 为目标点在世界坐标系y轴的投影值， r_w^z 为目标点在世界坐标系z轴的投影值，

相机 H_w^c 为相机坐标系相对于世界坐标系的齐次变换矩阵， $\begin{bmatrix} r_c^x \\ r_c^y \\ r_c^z \\ 1 \end{bmatrix}$ 为目标点相对于世界坐标系的视线向量， r_c^x 为目标点在相机坐标系X轴的投影值， r_c^y 为目标点在相机坐标系y轴的投影值， r_c^z 为目标点在相机坐标系z轴的投影值。

- 20 步骤 207：根据相机坐标系相对于世界坐标系的齐次变换矩阵，得到相机原点在世界坐标系下的坐标。

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_w^c(1,4) \\ H_w^c(2,4) \\ H_w^c(3,4) \end{bmatrix},$$

相机原点在世界坐标系下的坐标为

其中, $H_w^c(1,4)$ 为相机原点在世界坐标系 x 轴的投影值, $H_w^c(2,4)$ 为相机原点在世界坐标系 y 轴的投影值, $H_w^c(3,4)$ 为相机原点在世界坐标系 z 轴的投影值。

5 步骤 208: 根据相机原点坐标和目标点相对于世界坐标系的视线向量, 得到视线直线方程。

视线直线方程为
$$\begin{cases} x = x_c + r_w^x t \\ y = y_c + r_w^y t \\ z = z_c + r_w^z t \end{cases}$$
, 其中, x、y 和 z 为视线方程上的点的坐标, r_w^x 为目标

点在世界坐标系 x 轴的投影值, r_w^y 为目标点在世界坐标系 y 轴的投影值, r_w^z 为目标点在世界坐标系 z 轴的投影值, t 为因变量, x_c 、 y_c 和 z_c 为相机原点在世界坐标系下的坐标。

步骤 209: 在世界坐标系中, 获取目标点所在平面的平面方程。

10 以图 3 为例, 目标点所在的平面为茶杯杯口所在的平面, 其平面方程为 $Z=H+h$, 其中, H 为工作台上表面在世界坐标系中的高度, h 为茶杯杯口所在平面在世界坐标系中的高度。

步骤 210: 根据视线直线方程及平面方程, 得到目标点的世界坐标。

继续以图 3 为例, 将步骤 208 的视线直线方程与平面方程联立, 最后得到目标点的世

$$\begin{cases} x = x_c + \frac{r_w^x}{r_w^z} (H + h - z_c) \\ y = y_c + \frac{r_w^y}{r_w^z} (H + h - z_c) \\ z = H + h \end{cases}。$$

界坐标为

15 步骤 211: 根据目标点的世界坐标, 控制机械臂按照预设策略对物体进行操作。

预设策略可根据实际需求由工作人员设定, 例如对目标点进行抓取等, 以茶杯为例, 预设策略可为对茶杯进行抓取, 或者对茶杯进行注水等。

20 本申请实施例提供了一种基于单目视觉定位的机械臂控制方法, 首先获取目标物体的目标点在像素坐标系下的像素坐标, 然后利用相机坐标系相对于机械臂末端的齐次变换矩阵及机械臂末端相对于世界坐标系的齐次变换矩阵进行转换, 得到视线直线方程, 最后在世界坐标系中, 获取目标点所在平面的平面方程, 并通过视线直线方程及平面方程, 得到目标点的世界坐标, 因此, 与现有技术相比, 本申请实施例无需两个单目摄像机, 简化定位系统, 操作简单, 且不涉及图像特征点的匹配和最优距离的测算, 简化处理算法, 降低对硬件设备的要求。

25 进一步的, 作为对上述图 1 所示方法的实现, 本申请实施例提供了一种基于单目视觉

定位的机械臂控制装置,如图4所示,该装置包括:

坐标系构建模块401,用于建立像素坐标系、相机坐标系和世界坐标系;

第一获取模块402,用于获取目标物体的目标点在像素坐标系中的像素坐标、相机内参数矩阵、相机外参数矩阵和机械臂末端相对于世界坐标系的齐次变换矩阵;

5 视线向量确定模块403,用于根据目标点的像素坐标、相机的内参数矩阵、相机外参数矩阵和机械臂末端相对于世界坐标系的齐次变换矩阵,得到目标点相对于世界坐标系的视线向量;

视线直线方程确定模块404,用于根据相机坐标系相对于世界坐标系的齐次变换矩阵和目标点相对于世界坐标系的视线向量,得到视线直线方程;

10 第二获取模块405,用于在世界坐标系中,获取目标点所在平面的平面方程;

世界坐标确定模块406,用于根据视线直线方程及平面方程,得到目标点的世界坐标;

控制模块407,用于根据目标点的世界坐标,控制机械臂按照预设策略对物体进行操作。

进一步的,作为对上述图2所示方法的实现,本申请实施例提供了另一种装置,如图5所示,该装置包括:

坐标系构建模块501,用于建立像素坐标系、相机坐标系和世界坐标系;

第一获取模块502,用于获取目标物体的目标点在像素坐标系中的像素坐标、相机内参数矩阵和相机外参数矩阵;

20 视线向量确定模块503,用于根据目标点的像素坐标、相机的内参数矩阵、相机外参数矩阵和机械臂末端相对于世界坐标系的齐次变换矩阵,得到目标点相对于世界坐标系的视线向量;

视线直线方程确定模块504,用于根据相机坐标系相对于世界坐标系的齐次变换矩阵和目标点相对于世界坐标系的视线向量,得到视线直线方程;

第二获取模块505,用于在世界坐标系中,获取目标点所在平面的平面方程;

25 世界坐标确定模块506,用于根据视线直线方程及平面方程,得到目标点的世界坐标;

控制模块507,用于根据目标点的世界坐标,控制机械臂按照预设策略对物体进行操作。

进一步地,视线向量确定模块503包括:

30 视线向量确定单元5031,用于根据目标点的像素坐标和相机的内参数矩阵,得到目标点相对于相机坐标系的视线向量,视线向量的方向由相机坐标系的原点指向目标物体的中心。

视线向量转换单元5032,用于根据相机外参数矩阵、机械臂末端相对于世界坐标系的齐次变换矩阵及目标点相对于相机坐标系的视线向量,得到目标点相对于世界坐标系的视线向量。

35 进一步地,视线向量确定单元5031包括:

三位坐标表达式确定子单元50311,用于根据目标点的像素坐标和相机的内参数矩阵,得到目标点在相机坐标系下的三维坐标表达式,目标点在相机坐标系下的三维坐标表达式

为
$$s \begin{bmatrix} \mu \\ \nu \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & \alpha \\ 0 & f_y & \beta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}, \text{ 其中, } \begin{bmatrix} \mu \\ \nu \\ 1 \end{bmatrix} \text{ 为目标点的像素坐标, } s \text{ 为齐次变换匹配系数,}$$

$\begin{bmatrix} f_x & 0 & \alpha \\ 0 & f_y & \beta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为相机内参数矩阵, f_x 为像素平面 X 轴的焦距系数, f_y 为像素平面 y 轴的焦距系数, α 为像素平面 x 轴的偏移量, β 为像素平面 y 轴的偏移量, $\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$ 为目标点在相机坐标系下的三维坐标。

视线向量计算子单元 50312, 用于根据目标点在相机坐标系下的三维坐标表达式, 得

$$\begin{bmatrix} \gamma_c^x \\ \gamma_c^y \\ \gamma_c^z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\mu/f_x}{\sqrt{\left(\frac{\mu}{f_x}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{f_y}\right)^2} + 1} \\ \frac{\nu/f_y}{\sqrt{\left(\frac{\mu}{f_x}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{f_y}\right)^2} + 1} \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix},$$

5 到目标点相对于相机坐标系的视线向量, 视线向量为

其中, γ_c^x 为目标点在相机坐标系 X 轴的投影值, γ_c^y 为目标点在相机坐标系 y 轴的投影值, γ_c^z 为目标点在相机坐标系 z 轴的投影值, f_x 为像素平面 X 轴的焦距系数, f_y 为像素平面 y 轴的焦距系数, μ 和 ν 为目标点的像素坐标。

进一步地, 视线向量转换单元 5032 包括:

10 齐次变换矩阵子确定单元 50321, 用于根据相机外参数矩阵、机械臂末端相对于世界坐标系的齐次变换矩阵, 按照如下公式, 得到相机坐标系相对于世界坐标系的齐次变换矩阵;

$$H_w^c = H_w^e \times H_e^c;$$

其中, H_w^c 为相机坐标系相对于世界坐标系的齐次变换矩阵, H_w^e 为机械臂末端相对于

15 世界坐标系的齐次变换矩阵, H_e^c 为相机外部参数矩阵。

视线向量转换子单元 50322, 用于根据相机坐标系相对于世界坐标系的齐次变换矩阵及目标点相对于相机坐标系的视线向量, 按照如下公式, 得到目标点相对于世界坐标系的视线向量;

$$\begin{bmatrix} r_w^x \\ r_w^y \\ r_w^z \\ 1 \end{bmatrix} = H_w^c \begin{bmatrix} r_c^x \\ r_c^y \\ r_c^z \\ 1 \end{bmatrix},$$

其中, $\begin{bmatrix} r_w^x \\ r_w^y \\ r_w^z \\ 1 \end{bmatrix}$ 为目标点相对于世界坐标系的视线向量, r_w^x 为目标点在世界坐标系 x 轴的投影值, r_w^y 为目标点在世界坐标系 y 轴的投影值, r_w^z 为目标点在世界坐标系 z 轴的投影值,

相机 H_w^c 为相机坐标系相对于世界坐标系的齐次变换矩阵, $\begin{bmatrix} r_c^x \\ r_c^y \\ r_c^z \\ 1 \end{bmatrix}$ 为目标点相对于世界坐标系的视线向量, r_c^x 为目标点在相机坐标系 X 轴的投影值, r_c^y 为目标点在相机坐标系 y 轴的投影值, r_c^z 为目标点在相机坐标系 z 轴的投影值。

进一步地, 视线直线方程确定模块 504 包括:

相机原点坐标确定单元 5041, 用于根据相机坐标系相对于世界坐标系的齐次变换矩阵, 得到相机原点在世界坐标系下的坐标。

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_w^c(1,4) \\ H_w^c(2,4) \\ H_w^c(3,4) \end{bmatrix},$$

10 相机原点在世界坐标系下的坐标为

其中, $H_w^c(1,4)$ 为相机原点在世界坐标系 x 轴的投影值, $H_w^c(2,4)$ 为相机原点在世界坐标系 y 轴的投影值, $H_w^c(3,4)$ 为相机原点在世界坐标系 z 轴的投影值。

视线直线方程确定单元 5042, 用于根据相机原点坐标和目标点相对于世界坐标系的视线向量, 得到视线直线方程。

$$\begin{cases} x = x_c + r_w^x t \\ y = y_c + r_w^y t \\ z = z_c + r_w^z t \end{cases}, \text{ 其中, } x, y \text{ 和 } z \text{ 为视线方程上的点的坐标, } r_w^x \text{ 为目标}$$

15

视线直线方程为

点在世界坐标系 x 轴的投影值, r_w^y 为目标点在世界坐标系 y 轴的投影值, r_w^z 为目标点在世界坐标系 z 轴的投影值, t 为因变量, x_c 、 y_c 和 z_c 为相机原点在世界坐标系下的坐标。

根据本申请一个实施例提供了一种存储介质, 存储介质存储有至少一可执行指令, 该计算机可执行指令可执行上述任意方法实施例中的基于单目视觉定位的机械臂控制方法。
5 可选的, 本申请涉及的存储介质可以是计算机可读存储介质, 该存储介质如计算机可读存储介质可以是非易失性的, 也可以是易失性的。

图 6 示出了根据本申请一个实施例提供的一种计算机设备的结构示意图, 本申请具体实施例并不对计算机设备的具体实现做限定。

如图 6 所示, 该计算机设备可以包括: 处理器(processor)602、通信接口(Communications Interface)604、存储器(memory)606、以及通信总线 608。其中: 处理器 602、通信接口 604、以及存储器 606 通过通信总线 608 完成相互间的通信。
10

通信接口 604, 用于与其它设备比如客户端或其它服务器等的网元通信。

处理器 602, 用于执行程序 610, 具体可以执行上述基于单目视觉定位的机械臂控制方法实施例中的相关步骤。

15 具体地, 程序 610 可以包括程序代码, 该程序代码包括计算机操作指令。

处理器 602 可能是中央处理器 CPU, 或者是特定集成电路 ASIC (Application Specific Integrated Circuit), 或者是被配置成实施本申请实施例的一个或多个集成电路。计算机设备包括的一个或多个处理器, 可以是同一类型的处理器, 如一个或多个 CPU; 也可以是不同类型的处理器, 如一个或多个 CPU 以及一个或多个 ASIC。

20 存储器 606, 用于存放程序 610。存储器 606 可能包含高速 RAM 存储器, 也可能还包括非易失性存储器 (non-volatile memory), 例如至少一个磁盘存储器。

程序 610 具体可以用于使得处理器 602 执行以下操作: 建立像素坐标系、机械臂末端相机坐标系和世界坐标系。获取目标物体的目标点在像素坐标系中的像素坐标、相机内参数矩阵、相机外参数矩阵和机械臂末端相对于世界坐标系的齐次变换矩阵。目标物体为机械臂所操作的物体, 目标点为目标物体上的特定点, 一般为目标物体的中心点。相机内参数矩阵和相机外参数矩阵可由相机标定获得。根据目标点的像素坐标和相机的内参数矩阵, 得到目标点相对于相机坐标系的视线向量, 视线向量的方向由相机坐标系的原点指向目标物体的中心。根据相机外参数矩阵机械臂末端、机械臂末端相对于世界坐标系的齐次变换矩阵及目标点相对于相机坐标系的视线向量, 得到目标点相对于世界坐标系的视线向量。
25 相机坐标系相对于世界坐标系的齐次变换矩阵和目标点相对于世界坐标系的视线向量, 得到视线直线方程。在世界坐标系中, 获取目标点所在平面的平面方程。根据视线直线方程及平面方程, 得到目标点的世界坐标。根据目标点的世界坐标, 控制机械臂按照预设策略对物体进行操作。

显然, 本领域的技术人员应该明白, 上述的本申请的各模块或各步骤可以用通用的计算装置来实现, 它们可以集中在单个的计算装置上, 或者分布在多个计算装置所组成的网络上, 可选地, 它们可以用计算装置可执行的程序代码来实现, 从而, 可以将它们存储在存储装置中由计算装置来执行, 并且在某些情况下, 可以以不同于此处的顺序执行所示出或描述的步骤, 或者将它们分别制作成各个集成电路模块, 或者将它们中的多个模块或步骤制作成单个集成电路模块来实现。这样, 本申请不限制于任何特定的硬件和软件结合。
35

40 以上仅为本申请的优选实施例而已, 并不用于限制本申请, 对于本领域的技术人员来说, 本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原则之内, 所作的任何修改、等同替换、改进等, 均应包括在本申请的保护范围之内。

权利要求

1.一种基于单目视觉定位的机械臂控制方法,应用于单目视觉定位的机械臂控制系统,所述系统包括机械臂及安装在所述机械臂末端的单目像机,其中,包括:

建立像素坐标系、相机坐标系和世界坐标系;

5 获取目标物体的目标点在所述像素坐标系中的像素坐标、相机内参数矩阵、相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵;

根据所述目标点的像素坐标、相机的内参数矩阵、所述相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵,得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量;

10 根据所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵和所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量,得到视线直线方程;

在所述世界坐标系中,获取所述目标点所在平面的平面方程;

根据所述视线直线方程及所述平面方程,得到所述目标点的世界坐标;

根据所述目标点的世界坐标,控制所述机械臂按照预设策略对物体进行操作。

15 2.根据权利要求1所述的方法,其中,所述根据所述目标点的像素坐标、相机的内参数矩阵、所述相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵,得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量包括:

根据所述目标点的像素坐标和相机的内参数矩阵,得到所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量,所述视线向量的方向由所述相机坐标系的原点指向所述目标物体的中心;

20 根据所述相机外参数矩阵、所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵及所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量,得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量。

3.根据权利要求2所述的方法,其中,所述根据所述目标点的像素坐标和相机的内参数矩阵,得到所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量包括:

25 根据所述目标点的像素坐标和相机的内参数矩阵,得到所述目标点在相机坐标系下的

三维坐标表达式,所述目标点在相机坐标系下的三维坐标表达式为

$$s \begin{bmatrix} \mu \\ \nu \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & \alpha \\ 0 & f_y & \beta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix},$$

其中, $\begin{bmatrix} \mu \\ \nu \\ 1 \end{bmatrix}$ 为所述目标点的像素坐标, s 为齐次变换匹配系数, $\begin{bmatrix} f_x & 0 & \alpha \\ 0 & f_y & \beta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为相机内参数

矩阵, f_x 为像素平面 X 轴的焦距系数, f_y 为像素平面 y 轴的焦距系数, α 为像素平面 x 轴

的偏移量, β 为像素平面 y 轴的偏移量, $\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$ 为目标点在相机坐标系下的三维坐标;

30 根据所述目标点在相机坐标系下的三维坐标表达式,得到所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量,所述视线向量为

$$\begin{bmatrix} \gamma_c^x \\ \gamma_c^y \\ \gamma_c^z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\mu/f_x}{\sqrt{\left(\frac{\mu}{f_x}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{f_y}\right)^2} + 1} \\ \frac{\nu/f_y}{\sqrt{\left(\frac{\mu}{f_x}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{f_y}\right)^2} + 1} \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix},$$

其中, γ_c^x 为所述目标点在相机坐标系 X 轴的投影值, γ_c^y 为所述目标点在相机坐标系 y 轴的投影值, γ_c^z 为所述目标点在相机坐标系 z 轴的投影值, f_x 为像素平面 X 轴的焦距系数, f_y 为像素平面 y 轴的焦距系数, μ 和 ν 为所述目标点的像素坐标。

- 5 4.根据权利要求 2 所述的方法, 其中, 所述根据所述相机外参数矩阵、所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵及所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量, 得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量包括:

10 根据所述相机坐标系相对于所述机械臂末端的齐次变换矩阵、所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵, 按照如下公式, 得到所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵;

$$H_w^c = H_w^e \times H_e^c;$$

其中, H_w^c 为所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵, H_w^e 为所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵, H_e^c 为所述相机外参数矩阵;

- 15 根据所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵及所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量, 按照如下公式, 得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量;

$$\begin{bmatrix} r_w^x \\ r_w^y \\ r_w^z \\ 1 \end{bmatrix} = H_w^c \begin{bmatrix} r_c^x \\ r_c^y \\ r_c^z \\ 1 \end{bmatrix},$$

其中, $\begin{bmatrix} r_w^x \\ r_w^y \\ r_w^z \\ 1 \end{bmatrix}$ 为所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量, r_w^x 为所述目标点在世界坐标系 x 轴的投影值, r_w^y 为所述目标点在世界坐标系 y 轴的投影值, r_w^z 为所述目标点在世界坐标系 z 轴的投影值, 相机 H_w^c 为相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵,

$\begin{bmatrix} r_c^x \\ r_c^y \\ r_c^z \\ 1 \end{bmatrix}$ 为目标点相对于所述世界坐标系的视线向量, γ_c^x 为目标点在相机坐标系 X 轴的投影值, γ_c^y 为目标点在相机坐标系 y 轴的投影值, γ_c^z 为目标点在相机坐标系 z 轴的投影值。

5. 根据权利要求 1 所述的方法, 其中, 所述根据所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵和所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量, 得到视线直线方程包括:

根据所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵, 得到相机原点在世界坐标系下的坐标;

根据所述相机原点坐标和所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量, 得到视线直线方程。

6. 根据权利要求 5 所述的方法, 其中, 所述相机原点在世界坐标系下的坐标为

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_w^c(1,4) \\ H_w^c(2,4) \\ H_w^c(3,4) \end{bmatrix},$$

15 其中, $H_w^c(1,4)$ 为相机原点在世界坐标系 x 轴的投影值, $H_w^c(2,4)$ 为相机原点在世界坐标系 y 轴的投影值, $H_w^c(3,4)$ 为相机原点在世界坐标系 z 轴的投影值;

所述视线直线方程为
$$\begin{cases} x = x_c + r_w^x t \\ y = y_c + r_w^y t \\ z = z_c + r_w^z t \end{cases}$$
, 其中, x、y 和 z 为所述视线方程上的点的坐标, r_w^x

为所述目标点在世界坐标系 x 轴的投影值, r_w^y 为所述目标点在世界坐标系 y 轴的投影值, r_w^z 为所述目标点在世界坐标系 z 轴的投影值, t 为因变量, x_c 、 y_c 和 z_c 为所述相机原点在

世界坐标系下的坐标。

7.一种基于单目视觉定位的机械臂控制装置, 其中, 包括:

坐标系构建模块, 用于建立像素坐标系、相机坐标系和世界坐标系;

5 第一获取模块, 用于获取目标物体的目标点在所述像素坐标系中的像素坐标、相机内参数矩阵、相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵;

视线向量确定模块, 用于根据所述目标点的像素坐标、相机的内参数矩阵、所述相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵, 得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量;

10 视线直线方程确定模块, 用于根据所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵和所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量, 得到视线直线方程;

第二获取模块, 用于在所述世界坐标系中, 获取所述目标点所在平面的平面方程;

世界坐标确定模块, 用于根据所述视线直线方程及所述平面方程, 得到所述目标点的世界坐标;

15 控制模块, 用于根据所述目标点的世界坐标, 控制所述机械臂按照预设策略对物体进行操作。

8、根据权利要求 7 所述的装置, 其中, 所述视线向量确定模块包括:

视线向量确定单元, 用于根据目标点的像素坐标和相机的内参数矩阵, 得到目标点相对于相机坐标系的视线向量, 视线向量的方向由相机坐标系的原点指向目标物体的中心。

20 视线向量转换单元, 用于根据相机外参数矩阵、机械臂末端相对于世界坐标系的齐次变换矩阵及目标点相对于相机坐标系的视线向量, 得到目标点相对于世界坐标系的视线向量。

9.一种存储介质, 其中, 所述存储介质中存储有至少一可执行指令, 所述可执行指令使处理器执行以下步骤:

建立像素坐标系、相机坐标系和世界坐标系;

25 获取目标物体的目标点在所述像素坐标系中的像素坐标、相机内参数矩阵、相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵;

根据所述目标点的像素坐标、相机的内参数矩阵、所述相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵, 得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量;

30 根据所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵和所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量, 得到视线直线方程;

在所述世界坐标系中, 获取所述目标点所在平面的平面方程;

根据所述视线直线方程及所述平面方程, 得到所述目标点的世界坐标;

根据所述目标点的世界坐标, 控制所述机械臂按照预设策略对物体进行操作。

35 10.根据权利要求 9 所述的存储介质, 其中, 所述根据所述目标点的像素坐标、相机的内参数矩阵、所述相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵, 得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量时, 具体执行以下步骤:

根据所述目标点的像素坐标和相机的内参数矩阵, 得到所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量, 所述视线向量的方向由所述相机坐标系的原点指向所述目标物体的中心;

40 根据所述相机外参数矩阵、所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵及所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量, 得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量。

11.根据权利要求 10 所述的存储介质, 其中, 所述根据所述目标点的像素坐标和相机的内参数矩阵, 得到所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量时, 具体执行以下步骤:

根据所述目标点的像素坐标和相机的内参数矩阵, 得到所述目标点在相机坐标系下的

三维坐标表达式, 所述目标点在相机坐标系下的三维坐标表达式为

$$s \begin{bmatrix} \mu \\ \nu \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & \alpha \\ 0 & f_y & \beta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix},$$

其中, $\begin{bmatrix} \mu \\ \nu \\ 1 \end{bmatrix}$ 为所述目标点的像素坐标, s 为齐次变换匹配系数, $\begin{bmatrix} f_x & 0 & \alpha \\ 0 & f_y & \beta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为相机内参数矩阵, f_x 为像素平面 X 轴的焦距系数, f_y 为像素平面 y 轴的焦距系数, α 为像素平面 x 轴

5 的偏移量, β 为像素平面 y 轴的偏移量, $\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$ 为目标点在相机坐标系下的三维坐标;

根据所述目标点在相机坐标系下的三维坐标表达式, 得到所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量, 所述视线向量为

$$\begin{bmatrix} \gamma_c^x \\ \gamma_c^y \\ \gamma_c^z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu/f_x \\ \sqrt{\left(\frac{\mu}{f_x}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{f_y}\right)^2 + 1} \\ \nu/f_y \\ \sqrt{\left(\frac{\mu}{f_x}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{f_y}\right)^2 + 1} \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix},$$

其中, γ_c^x 为所述目标点在相机坐标系 X 轴的投影值, γ_c^y 为所述目标点在相机坐标系

10 y 轴的投影值, γ_c^z 为所述目标点在相机坐标系 z 轴的投影值, f_x 为像素平面 X 轴的焦距系

数, f_y 为像素平面 y 轴的焦距系数, μ 和 ν 为所述目标点的像素坐标。

12. 根据权利要求 10 所述的存储介质, 其中, 所述根据所述相机外参数矩阵、所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵及所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量, 得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量时, 具体执行以下步骤:

15 根据所述相机坐标系相对于所述机械臂末端的齐次变换矩阵、所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵, 按照如下公式, 得到所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵;

$$H_w^c = H_w^e \times H_c^c;$$

其中, H_w^c 为所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵, H_w^c 为所述机械

臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵, H_c^c 为所述相机外参数矩阵;

根据所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵及所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量, 按照如下公式, 得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向

5 量;

$$\begin{bmatrix} r_w^x \\ r_w^y \\ r_w^z \\ 1 \end{bmatrix} = H_w^c \begin{bmatrix} r_c^x \\ r_c^y \\ r_c^z \\ 1 \end{bmatrix},$$

其中, $\begin{bmatrix} r_w^x \\ r_w^y \\ r_w^z \\ 1 \end{bmatrix}$ 为所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量, r_w^x 为所述目标点在世界坐标系 x 轴的投影值, r_w^y 为所述目标点在世界坐标系 y 轴的投影值, r_w^z 为所述目标点在世界坐标系 z 轴的投影值, 相机 H_w^c 为相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵,

10 $\begin{bmatrix} r_c^x \\ r_c^y \\ r_c^z \\ 1 \end{bmatrix}$ 为目标点相对于所述世界坐标系的视线向量, γ_c^x 为目标点在相机坐标系 X 轴的投影值, γ_c^y 为目标点在相机坐标系 y 轴的投影值, γ_c^z 为目标点在相机坐标系 z 轴的投影值。

13. 根据权利要求 9 所述的存储介质, 其中, 所述根据所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵和所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量, 得到视线直线方程时, 具体执行以下步骤:

15 根据所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵, 得到相机原点在世界坐标系下的坐标;

根据所述相机原点坐标和所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量, 得到视线直线方程。

14. 根据权利要求 13 所述的存储介质, 其中, 所述相机原点在世界坐标系下的坐标为

20 $\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_w^c(1,4) \\ H_w^c(2,4) \\ H_w^c(3,4) \end{bmatrix},$

其中, $H_w^c(1,4)$ 为相机原点在世界坐标系 x 轴的投影值, $H_w^c(2,4)$ 为相机原点在世界坐标系 y 轴的投影值, $H_w^c(3,4)$ 为相机原点在世界坐标系 z 轴的投影值;

所述视线直线方程为
$$\begin{cases} x = x_c + r_w^x t \\ y = y_c + r_w^y t \\ z = z_c + r_w^z t \end{cases}$$
, 其中, x、y 和 z 为所述视线方程上的点的坐标, r_w^x

为所述目标点在世界坐标系 x 轴的投影值, r_w^y 为所述目标点在世界坐标系 y 轴的投影值,

5 r_w^z 为所述目标点在世界坐标系 z 轴的投影值, t 为因变量, x_c 、 y_c 和 z_c 为所述相机原点在世界坐标系下的坐标。

15. 一种计算机设备, 包括: 处理器、存储器、通信接口和通信总线, 所述处理器、所述存储器和所述通信接口通过所述通信总线完成相互间的通信;

10 所述存储器用于存放至少一可执行指令, 所述可执行指令使所述处理器执行以下步骤: 建立像素坐标系、相机坐标系和世界坐标系;

获取目标物体的目标点在所述像素坐标系中的像素坐标、相机内参数矩阵、相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵;

15 根据所述目标点的像素坐标、相机的内参数矩阵、所述相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵, 得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量;

根据所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵和所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量, 得到视线直线方程;

在所述世界坐标系中, 获取所述目标点所在平面的平面方程;

根据所述视线直线方程及所述平面方程, 得到所述目标点的世界坐标;

20 根据所述目标点的世界坐标, 控制所述机械臂按照预设策略对物体进行操作。

16. 根据权利要求 15 所述的方法, 其中, 所述根据所述目标点的像素坐标、相机的内参数矩阵、所述相机外参数矩阵和所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵, 得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量时, 具体执行以下步骤:

25 根据所述目标点的像素坐标和相机的内参数矩阵, 得到所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量, 所述视线向量的方向由所述相机坐标系的原点指向所述目标物体的中心;

根据所述相机外参数矩阵、所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵及所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量, 得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量。

30 17. 根据权利要求 16 所述的计算机设备, 其中, 所述根据所述目标点的像素坐标和相机的内参数矩阵, 得到所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量时, 具体执行以下步骤:

根据所述目标点的像素坐标和相机的内参数矩阵, 得到所述目标点在相机坐标系下的

$$s \begin{bmatrix} \mu \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & \alpha \\ 0 & f_y & \beta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix},$$

三维坐标表达式, 所述目标点在相机坐标系下的三维坐标表达式为

其中, $\begin{bmatrix} \mu \\ \nu \\ 1 \end{bmatrix}$ 为所述目标点的像素坐标, s 为齐次变换匹配系数, $\begin{bmatrix} f_x & 0 & \alpha \\ 0 & f_y & \beta \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ 为相机内参数矩阵, f_x 为像素平面 X 轴的焦距系数, f_y 为像素平面 y 轴的焦距系数, α 为像素平面 x 轴

的偏移量, β 为像素平面 y 轴的偏移量, $\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$ 为目标点在相机坐标系下的三维坐标;

5 根据所述目标点在相机坐标系下的三维坐标表达式, 得到所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量, 所述视线向量为

$$\begin{bmatrix} \gamma_c^x \\ \gamma_c^y \\ \gamma_c^z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\mu/f_x}{\sqrt{\left(\frac{\mu}{f_x}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{f_y}\right)^2} + 1} \\ \frac{\nu/f_y}{\sqrt{\left(\frac{\mu}{f_x}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{f_y}\right)^2} + 1} \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix},$$

其中, γ_c^x 为所述目标点在相机坐标系 X 轴的投影值, γ_c^y 为所述目标点在相机坐标系 y 轴的投影值, γ_c^z 为所述目标点在相机坐标系 z 轴的投影值, f_x 为像素平面 X 轴的焦距系数, f_y 为像素平面 y 轴的焦距系数, μ 和 ν 为所述目标点的像素坐标。

10 18. 根据权利要求 16 所述的计算机设备, 其中, 所述根据所述相机外参数矩阵、所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵及所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量, 得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量时, 具体执行以下步骤:

15 根据所述相机坐标系相对于所述机械臂末端的齐次变换矩阵、所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵, 按照如下公式, 得到所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵;

$$H_w^c = H_w^e \times H_e^c;$$

其中, H_w^c 为所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵, H_w^e 为所述机械臂末端相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵, H_e^c 为所述相机外参数矩阵;

20 根据所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵及所述目标点相对于所述相机坐标系的视线向量, 按照如下公式, 得到所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向

量;

$$\begin{bmatrix} r_w^x \\ r_w^y \\ r_w^z \\ 1 \end{bmatrix} = H_w^c \begin{bmatrix} r_c^x \\ r_c^y \\ r_c^z \\ 1 \end{bmatrix},$$

其中, $\begin{bmatrix} r_w^x \\ r_w^y \\ r_w^z \\ 1 \end{bmatrix}$ 为所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量, r_w^x 为所述目标点在世界坐标系 x 轴的投影值, r_w^y 为所述目标点在世界坐标系 y 轴的投影值, r_w^z 为所述目标点在世界坐标系 z 轴的投影值, 相机 H_w^c 为相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵,

5 世界坐标系 z 轴的投影值, 相机 H_w^c 为相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵,

$$\begin{bmatrix} r_c^x \\ r_c^y \\ r_c^z \\ 1 \end{bmatrix}$$

为目标点相对于所述世界坐标系的视线向量, γ_c^x 为目标点在相机坐标系 X 轴的投影值, γ_c^y 为目标点在相机坐标系 y 轴的投影值, γ_c^z 为目标点在相机坐标系 z 轴的投影值。

19. 根据权利要求 15 所述的计算机设备, 其中, 所述根据所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵和所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量, 得到视线直线方程时, 具体执行以下步骤:

根据所述相机坐标系相对于所述世界坐标系的齐次变换矩阵, 得到相机原点在世界坐标系下的坐标;

根据所述相机原点坐标和所述目标点相对于所述世界坐标系的视线向量, 得到视线直线方程。

15 20. 根据权利要求 19 所述的计算机设备, 其中, 所述相机原点在世界坐标系下的坐标

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_w^c(1,4) \\ H_w^c(2,4) \\ H_w^c(3,4) \end{bmatrix},$$

其中, $H_w^c(1,4)$ 为相机原点在世界坐标系 x 轴的投影值, $H_w^c(2,4)$ 为相机原点在世界坐标系 y 轴的投影值, $H_w^c(3,4)$ 为相机原点在世界坐标系 z 轴的投影值;

所述视线直线方程为
$$\begin{cases} x = x_c + r_w^x t \\ y = y_c + r_w^y t \\ z = z_c + r_w^z t \end{cases}$$
, 其中, x 、 y 和 z 为所述视线方程上的点的坐标, r_w^x

为所述目标点在世界坐标系 x 轴的投影值, r_w^y 为所述目标点在世界坐标系 y 轴的投影值,

r_w^z 为所述目标点在世界坐标系 z 轴的投影值, t 为因变量, x_c 、 y_c 和 z_c 为所述相机原点在
世界坐标系下的坐标。