

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 8 月 8 日 (08.08.2024)



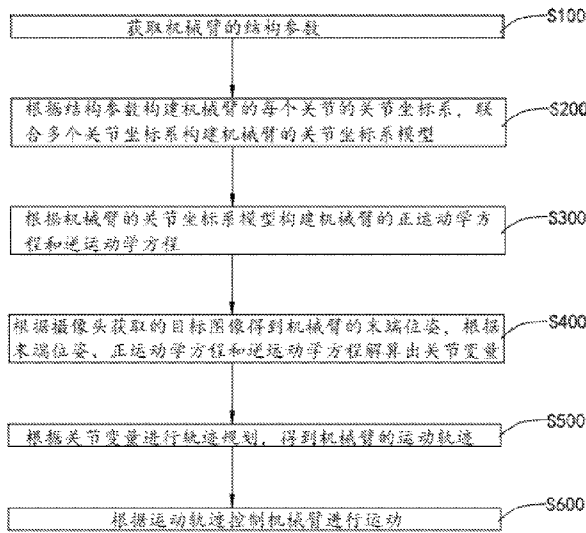
(10) 国际公布号
WO 2024/159941 A1

- (51) 国际专利分类号:
B25J 5/00 (2006.01) **B25J 9/16** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/138812
- (22) 国际申请日: 2023 年 12 月 14 日 (14.12.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
202310077249.1 2023年2月3日 (03.02.2023) CN
- (71) 申请人: 五邑大学 (WUYI UNIVERSITY) [CN/CN];
中国广东省江门市蓬江区东成村 22 号,
Guangdong 529000 (CN)。
- (72) 发明人: 张建民 (ZHANG, Jianmin); 中国广东省江门市蓬江区东成村 22 号, Guangdong 529000 (CN)。
孙龙 (SUN, Long); 中国广东省江门市蓬江区东

成村 22 号, Guangdong 529000 (CN)。李康权 (LI, Kangquan); 中国广东省江门市蓬江区东成村 22 号, Guangdong 529000 (CN)。龙佳乐 (LONG, Jiale); 中国广东省江门市蓬江区东成村 22 号, Guangdong 529000 (CN)。莫文迪 (MO, Wendi); 中国广东省江门市蓬江区东成村 22 号, Guangdong 529000 (CN)。邓明锋 (DENG, Mingfeng); 中国广东省江门市蓬江区东成村 22 号, Guangdong 529000 (CN)。孙肇鸿 (SUN, Zhaohong); 中国广东省江门市蓬江区东成村 22 号, Guangdong 529000 (CN)。钟锦鸿 (ZHONG, Jinhong); 中国广东省江门市蓬江区东成村 22 号, Guangdong 529000 (CN)。吴清秀 (WU, Qingxiu); 中国广东省江门市蓬江区东成村 22 号, Guangdong 529000 (CN)。杨秀云 (YANG, Xiuyun); 中国广东省江门市蓬江区东成村 22 号, Guangdong 529000 (CN)。陈世霖 (CHEN, Shilin); 中国广东省江门市蓬江区东成村 22 号,

(54) Title: MOBILITY SCOOTER, ROBOTIC MANIPULATOR CONTROL METHOD, ELECTRONIC DEVICE, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 代步车、机械臂的控制方法、电子设备及存储介质



- S100 Obtain structural parameters of a robotic manipulator
- S200 According to the structural parameters, construct a joint coordinate system for each joint of the robotic manipulator, and combine the plurality of joint coordinate systems to construct a joint coordinate system model for the robotic manipulator
- S300 Use the joint coordinate system model of the robotic manipulator to construct a forward kinematics equation and an inverse kinematics equation for the robotic manipulator
- S400 Use a target image acquired by a camera to obtain an end position and orientation of the robotic manipulator, and according to the end position and orientation, the forward kinematics equation, and the inverse kinematics equation, calculate a joint variable
- S500 According to the joint variable, perform trajectory planning to obtain a motion trajectory for the robotic manipulator
- S600 Control the motion of the robotic manipulator according to the motion trajectory

图 1

(57) Abstract: The embodiments of the present application provide a mobility scooter, a robotic manipulator control method, an electronic device, and a storage medium. The control method comprises: obtaining structural parameters of the robotic manipulator; according to the structural parameters, constructing joint coordinate systems, and combining the joint coordinate systems to construct a joint coordinate system model; using the joint coordinate system model to construct a forward kinematics equation and an inverse kinematics equation; using a target image to obtain an end position and orientation, and according to the end position and orientation, the forward kinematics equation, and the inverse kinematics equation, calculating a joint variable; according to the joint variable, performing trajectory planning to obtain a motion trajectory; and controlling the motion of the robotic manipulator according to the motion trajectory. The invention achieves high-precision, high-flexibility, and low-delay autonomous robotic manipulator motion.

Guangdong 529000 (CN)。欧杰森(OU, Jiesen); 中国广东省江门市蓬江区东成村22号, Guangdong 529000 (CN)。张家俊(ZHANG, Jiajun); 中国广东省江门市蓬江区东成村22号, Guangdong 529000 (CN)。谭钰铭(TAN, Yuming); 中国广东省江门市蓬江区东成村22号, Guangdong 529000 (CN)。赖豪杰(LAI, Haojie); 中国广东省江门市蓬江区东成村22号, Guangdong 529000 (CN)。

(74) 代理人: 广州嘉权专利商标事务所有限公司(JIAQUAN IP LAW); 中国广东省广州市天河区黄埔大道西100号富力盈泰广场A栋910, Guangdong 510627 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则4.17的声明:

— 发明人资格(细则4.17(iv))

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 本申请实施例提供了代步车、机械臂的控制方法、电子设备及存储介质, 其中控制方法包括获取机械臂的结构参数; 根据结构参数构建关节坐标系, 联合关节坐标系构建关节坐标系模型; 根据关节坐标系模型构建正运动学方程和逆运动学方程; 根据目标图像得到末端位姿, 根据末端位姿、正运动学方程和逆运动学方程解算出关节变量; 根据关节变量进行轨迹规划得到运动轨迹; 根据运动轨迹控制机械臂运动; 能够实现高精度、高灵活性、低延迟的自主机械臂运动。

代步车、机械臂的控制方法、电子设备及存储介质

技术领域

本申请实施例涉及但不限于机械臂技术领域，尤其涉及代步车、机械臂的控制方法、电子设备及存储介质。

背景技术

目前的部分机械臂是按照预设定的路线进行运行，则只能完成预设定的有限工作和任务。对于不同的任务，需要进行不同的编程和调试来进行应对，并且对于复杂的工作和环境则难以下手，存在智能化不足的问题。

发明内容

以下是对本文详细描述的主题的概述。本概述并非是为了限制权利要求的保护范围。

本申请实施例旨在至少解决现有技术中存在的技术问题之一，本申请实施例提供了机械臂、控制方法、电子设备及存储介质。

本申请的第一方面的实施例，一种机械臂的控制方法，包括：

获取所述机械臂的结构参数；

根据所述结构参数构建所述机械臂的每个关节的关节坐标系，联合多个所述关节坐标系构建所述机械臂的关节坐标系模型；

根据所述机械臂的关节坐标系模型构建所述机械臂的正运动学方程和逆运动学方程；

根据摄像头获取的目标图像得到机械臂的末端位姿，根据所述末端位姿、所述正运动学方程和所述逆运动学方程解算出关节变量；

根据所述关节变量进行轨迹规划，得到所述机械臂的运动轨迹；

根据所述运动轨迹控制所述机械臂进行运动。

本申请的第一方面的某些实施例，所述根据所述结构参数构建所述机械臂的每个关节的关节坐标系，包括：

对每个关节，以关节的旋转轴线作为关节坐标系的Z轴，相邻两个关节轴线的公垂线与前一个Z轴的交点作为关节坐标系的原点，公垂线所在直线方向作为关节坐标系的X轴，根据所述关节坐标系的Z轴、所述关节坐标系的X轴和所述关节坐标系的原点按照右手定则确定关节坐标系的Y轴，进而构建关节坐标系。

本申请的第一方面的某些实施例，所述联合多个所述关节坐标系构建所述机械臂的关节坐标系模型，包括：

联合多个所述关节坐标系确定连杆长度参数、连杆扭转参数、连杆偏移参数和关节转角参数；

根据所述连杆长度参数、所述连杆扭转参数、所述连杆偏移参数和所述关节转角参数构建所述机械臂的关节坐标系模型。

本申请的第一方面的某些实施例，根据所述机械臂的关节坐标系模型构建所述机械臂的正运动学方程，包括：

根据所述机械臂的关节坐标系模型得到多个相邻关节坐标系之间的齐次变换矩阵；

根据多个相邻关节坐标系之间的齐次变换矩阵得到所述机械臂的正运动学方程。

本申请的第一方面的某些实施例，所述根据所述末端位姿、所述正运动学方程和所述逆运动学方程解算出关节变量，包括：

根据所述末端位姿设置各关节的期望位姿；

根据各关节的初始位姿和所述期望位姿构建关节角度函数；

根据所述正运动学方程、所述逆运动学方程和所述关节角度函数结算出关节变量。

本申请的第一方面的某些实施例，所述根据所述关节变量进行轨迹规划，得到所述机械臂的运动轨迹，具体为：通过笛卡尔空间轨迹规划算法根据所述关节变量进行轨迹规划，得到所述机械臂的运动轨迹。

本申请的第一方面的某些实施例，所述机械臂设置有抓取爪，所述抓取爪设有包括构成电阻桥的多片电阻应变片的力传感器；

所述控制方法包括：

对所述力传感器进行静态标定；

获取在所述抓取爪处于抓取情况下的经静态标定的力传感器的输出电压；

根据所述输出电压得到所述抓取爪的夹持力和力矩；

根据所述夹持力和所述力矩调节所述抓取爪。

本申请的第二方面的实施例，一种机械臂，设有多个关节，所述机械臂的首端设有摄像头，所述机械臂的末端设有基座；所述机械臂应用如本申请的第一方面的实施例所述的控制方法进行控制。

本申请的第三方面的实施例，一种电子设备，包括：存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现如本申请的第一方面的实施例所述的机械臂的控制方法。

本申请的第四方面的实施例，一种计算机可读存储介质，存储有计算机可执行指令，所述计算机可执行指令用于执行如本申请的第一方面的实施例所述的机械臂的控制方法。

本申请的实施例通过获取机械臂的结构参数；根据结构参数构建关节坐标系，联合关节坐标系构建关节坐标系模型；根据关节坐标系模型构建正运动学方程和逆运动学方程；根据目标图像得到末端位姿，根据末端位姿、正运动学方程和逆运动学方程解算出关节变量；根据关节变量进行轨迹规划得到运动轨迹；根据运动轨迹控制机械臂运动；能够实现高精度、高灵活性、低延迟的自主机械臂运动。

附图说明

附图用来提供对本申请技术方案的进一步理解，并且构成说明书的一部分，与本申请的实施例一起用于解释本申请的技术方案，并不构成对本申请技术方案的限制。

图1是本发明的实施例所提供的机械臂的控制方法的步骤图；

图2是手眼一体的机械臂的标定示意图；

图3是机械臂的关节坐标系的示意图；

图4是机械臂的腕关节坐标系的示意图；

图5是机械臂处于手腕前伸状态的几何状态的示意图；

图6是机械臂处于手腕居中状态的几何状态的示意图；

图7是力传感器的坐标系的示意图；

图8是力传感器的电路图。

具体实施方式

为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及实施例，对本申请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用以解释本申请，并不用于限定本申请。

需要说明的是，虽然在装置示意图中进行了功能模块划分，在流程图中示出了逻辑顺序，但是在某些情况下，可以以不同于装置中的模块划分，或流程图中的顺序执行所示出或描述的步骤。说明书、权利要求书或上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象，而不必用于描述特定的顺序或先后次序。

下面结合附图，对本申请实施例作进一步阐述。

本申请的实施例，提供了一种机械臂。

机械臂设有多个关节，具体地，机械臂为六自由度机械臂。所述机械臂的首端设有摄像头，所述机械臂的末端设有基座，即机械臂为手眼一体的类型。手眼一体的机械臂是将摄像头的位置是固定在机械臂上的，摄像头随着机械臂的运动而运动。

机械臂采用如下的控制方法进行控制。

参照图 1，控制方法包括但不限于以下步骤：

步骤 S100，获取机械臂的结构参数；

步骤 S200，根据结构参数构建机械臂的每个关节的关节坐标系，联合多个关节坐标系构建机械臂的关节坐标系模型；

步骤 S300，根据机械臂的关节坐标系模型构建机械臂的正运动学方程和逆运动学方程；

步骤 S400，根据摄像头获取的目标图像得到机械臂的末端位姿，根据末端位姿、正运动学方程和逆运动学方程解算出关节变量；

步骤 S500，根据关节变量进行轨迹规划，得到机械臂的运动轨迹；

步骤 S600，根据运动轨迹控制机械臂进行运动。

参照图 2，首先，需要对机械臂进行手眼标定，通过手眼标定技术让机器人与视觉系统结合获取信息，以确定机器人与摄像头坐标系之间的相对关系。

在手眼标定过程中，通过使机械臂从第一位置运动至第二位置，且使得机械臂上的摄像头在第一位置和第二位置都可以看到标定板。

通过第一位置和第二位置构建空间变换回路，可以得到以下式子： $A_1 \cdot B \cdot C_1^{-1} = A_2 \cdot B \cdot C_2^{-1}$ ；由该式变换可以得到： $(A_2^{-1} \cdot A_1) \cdot B = B \cdot (C_2^{-1} \cdot C_1)$ ；即得到一个 $AB=BC$ 问题。

对于变换 A，只需知道机械臂在当前状态下每个关节的角度，即可计算出 A 变换。

对于变换 C，在摄像头坐标系下，空间中三维点 $(X,Y,Z,1)_c$ 与图像上对应的二维点 (x,y)

$_c$ 满足以下关系： $\lambda \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & x_{c0} \\ 0 & f_y & y_{c0} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix}$ ；其中，变换矩阵就是内参矩阵，其包含摄像头焦距等与摄像头内部结构有关的参数，然后将物体坐标从世界坐标系变换到摄像头坐标系。

摄像头坐标系可以表示如下： $\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix}$ ；

完整的摄像头模型如下： $\lambda \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & x_{c0} \\ 0 & f_y & y_{c0} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_x \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_y \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix}$ 。

对于步骤 S200, 所述根据所述结构参数构建所述机械臂的每个关节的关节坐标系, 具体包括以下步骤:

对每个关节, 以关节的旋转轴线作为关节坐标系的 Z 轴, 相邻两个关节轴线的公垂线与前一个 Z 轴的交点作为关节坐标系的原点, 公垂线所在直线方向作为关节坐标系的 X 轴, 根据所述关节坐标系的 Z 轴、所述关节坐标系的 X 轴和所述关节坐标系的原点按照右手定则确定关节坐标系的 Y 轴, 进而构建关节坐标系。

具体地, 对于指定 X 轴, Z 轴为斜线情况是两关节处于相交和不平行状态, 有最短一条正交任意两条斜线的公垂线, 其方向上的本地参考坐标系 X 轴被定义, 假如 a_n 作为 Z_n 和 Z_{n-1} 间的公垂线, 则 X_n 的方向将沿 a_n 。对于指定 Z 轴, Z 轴根据关节是否旋转来决定是否进行右手规则方向旋转, Z 轴按关节是滑动条件下沿着直线运动方向, 关节变量的含义为旋转角绕 Z 轴旋转或者为沿 Z 轴连接长度 d。

所述联合多个所述关节坐标系构建所述机械臂的关节坐标系模型, 具体包括以下步骤:

联合多个所述关节坐标系确定连杆长度参数、连杆扭转参数、连杆偏移参数和关节转角参数;

根据所述连杆长度参数、所述连杆扭转参数、所述连杆偏移参数和所述关节转角参数构建所述机械臂的关节坐标系模型。

利用除 X 轴方向和原点位置的四个参数表示原六轴的坐标变化, 这四个参数决定了第 i 个关节坐标系关于第 i-1 个关节坐标系的位置和方向。这四个参数分别是连杆长度参数 a_{i-1} 、连杆扭转参数 α_{i-1} 、连杆偏移参数 d_i 和关节转角参数 θ_i 。连杆长度参数表示 O_i 与 O_i' 之间的距离; 连杆扭转参数表示轴 Z_i 与轴 Z_{i-1} 之间的夹角; 连杆偏移参数表示 O_i' 在第 i-1 个关节坐标系中的 Z 坐标; 连杆偏移参数表示轴 X_i 与轴 X_{i-1} 之间的夹角。根据所述连杆长度参数、所述连杆扭转参数、所述连杆偏移参数和所述关节转角参数构建所述机械臂的关节坐标系模型。

对于步骤 S300, 根据所述机械臂的关节坐标系模型构建所述机械臂的正运动学方程, 包括以下步骤:

根据所述机械臂的关节坐标系模型得到多个相邻关节坐标系之间的齐次变换矩阵;

根据多个相邻关节坐标系之间的齐次变换矩阵得到所述机械臂的正运动学方程。

机械臂的正运动学求解根本在于对末端执行器的位姿与关节变量函数关系的确立, 并根据机械臂 DH 参数的确定和其各坐标系之间的平移、旋转关系, 使用齐次变换矩阵构建六自由度机械臂的正运动学方程。

参照图 3, 可以理解的是, 第 i 个关节坐标系的原点标记为 O_i , x 轴标记为 x_i , y 轴标记为 y_i , z 轴标记为 z_i 。同样地, 第 i-1 个关节坐标系的原点标记为 O_{i-1} , x 轴标记为 x_{i-1} , y 轴标记为 y_{i-1} , z 轴标记为 z_{i-1} 。第 i' 个关节坐标系的原点标记为 $O_{i'}$, x 轴标记为 $x_{i'}$, y 轴标记为 $y_{i'}$, z 轴标记为 $z_{i'}$ 。

第 i 个关节坐标系与第 i-1 个关节坐标系通过 a_{i-1} 、 α_{i-1} 、 d_i 、 θ_i 联系起来、对于机械臂来说, 变换可以看成只有一个变量的函数, 而其他参数是由机械臂的固有属性, 即结构参数决定的。第 i 个关节坐标系与第 i-1 个关节坐标系可由四个齐次变换矩阵相乘得到。

$$\text{齐次变换矩阵的一般表达式为: } {}^{i-1}_iT = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & a_{i-1} \\ \sin \theta_i \cos \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \cos \alpha_{i-1} & -\sin \alpha_{i-1} & -d_i \sin \alpha_{i-1} \\ \sin \theta_i \sin \alpha_{i-1} & \cos \theta_i \sin \alpha_{i-1} & \cos \alpha_{i-1} & d_i \cos \alpha_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

设 $s_i = \sin \theta_i$, $s \alpha_i = \sin \alpha_i$, $c_i = \cos \theta_i$, $c \alpha_i = \cos \alpha_i$; 利用坐标变换理论、结构参数以及连杆变换式子可得相邻连杆之间的变换矩阵:

$$\begin{aligned}
{}^0_1T &= \begin{bmatrix} c_1 & -s_1 & 0 & 0 \\ s_1 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, & {}^1_2T &= \begin{bmatrix} c_2 & -s_2 & 0 & a_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, & {}^2_3T &= \begin{bmatrix} c_3 & -s_3 & 0 & a_2 \\ s_3 & c_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \\
{}^3_4T &= \begin{bmatrix} c_4 & -s_4 & 0 & a_3 \\ 0 & 0 & 1 & d_4 \\ -s_4 & -c_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, & {}^4_5T &= \begin{bmatrix} c_5 & -s_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ s_5 & c_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, & {}^5_6T &= \begin{bmatrix} c_6 & -s_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s_6 & -c_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.
\end{aligned}$$

由以上式子可以得到机械臂的正运动学方程，根据变换矩阵就可以得到机械臂的末端矩

$$\text{阵} {}^0_6T \text{的关系式为: } {}^0_6T(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_6) = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

所述根据所述末端位姿、所述正运动学方程和所述逆运动学方程解算出关节变量，包括：

根据所述末端位姿设置各关节的期望位姿；

根据各关节的初始位姿和所述期望位姿构建关节角度函数；

根据所述正运动学方程、所述逆运动学方程和所述关节角度函数结算出关节变量。

参照图 4，对于六自由度机械臂，第五个关节处的 w 点位置可以表示成一个机械臂 DH 参数 d_6 的函数并且也可以表示为机械臂末端执行器的位姿，其处于的位置明显为轴 Z_3 、 Z_4 、 Z_5 的交点。w 点的关节被称为腕关节，构建其坐标系并命名为腕部坐标系，将 w 点作为构建逆运动学方程。

将第五个关节和第六个关节之间与末端执行器进行齐次变换矩阵，可以得到腕部坐标系

$$\text{的位置，为: } p_w = p_e - d_6 z_e^b = \begin{bmatrix} p_w^x \\ p_w^y \\ p_w^z \end{bmatrix}.$$

根据机械臂末端执行器在基坐标系 $O-x_b y_b z_b$ 的 $x_b y_b$ 平面上的投影所在象限确定关节变量 θ_1 的取值，可得到关节变量 θ_1 : $\theta_{1,I} = \theta_{1,II} = \tan^{-1} \frac{p_w^y}{p_w^x}$; $\theta_{1,III} = -\pi + \tan^{-1} \frac{p_w^y}{p_w^x}$; $\theta_{1,IV} = \pi + \tan^{-1} \frac{p_w^y}{p_w^x}$ 。

参照图 5，第三个关节为肩关节，按照腕部坐标系的位置向量 p_w 在基坐标系 x_b 轴上的投影长度 p_x 与 DH 参数 a_1 的差值符号，将机械臂的形态有两种分为手腕居中与手腕前伸，这两种状态的关节变量 θ_2 、 θ_3 需要分别进行计算。 p_{a2H} 为腕关节到 J_2 的距离， p_{a3H} 为腕关节到 J_3 的距离， a_3 始终为 0。根据余弦定理与勾股定理求出关节变量 θ_2 、 θ_3 的数值，有： $\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{p_y}{p_x - a_1} \right) + \cos^{-1} \left((a_2)^2 + \left((p_{a2H})^2 - \frac{(p_{a3H})^2}{2a_2 p_{a2H}} \right) \right)$; $\theta_3 = \pi - \cos^{-1} \left(\frac{(p_{a3H})^2 + (a_2)^2 - (p_{a2H})^2}{2a_2 |p_{a3H}|} \right)$ 。

参照图 6，当 $p_x - a_1 < 0$ 时，机械臂处于手腕居中状态，关节变量 θ_2 和 θ_3 数值如下： $\theta_2 = \frac{\pi}{2} + \cos^{-1} \left((a_2)^2 + (p_{a2H})^2 - \frac{(a_4)^2}{2a_2 p_{a2H}} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{p_x - a_1}{p_y} \right)$ ； $\theta_3 = \pi - \cos^{-1} \left(\frac{(p_{a3H})^2 + (a_2)^2 - (p_{a2H})^2}{2a_2 |p_{a3H}|} \right)$ 。

已求解关节变量 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 ，由此机械臂的齐次变换矩阵可以解出，与机械臂末端执行器的齐次变换矩阵一同计算可得到球形腕的齐次变换矩阵： $R_6^3 = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{21} & r_{31} \\ r_{12} & r_{22} & r_{32} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{bmatrix} =$

$$\begin{bmatrix} c_4 c_5 c_6 - s_4 s_6 & -c_4 c_5 s_6 + s_4 s_6 & c_4 s_5 \\ s_4 c_5 c_6 + c_4 c_6 & -s_4 c_5 s_6 + c_4 c_6 & s_4 s_5 \\ -s_5 c_6 & s_5 s_6 & c_5 \end{bmatrix}.$$

对于关节变量 θ_5 ，当腕关节朝上时，有 $\theta_{5,I} = \text{atan} 2 \left(\frac{\sqrt{1-(r_{33})^2}}{r_{33}} \right)$ ；当腕关节朝下时，有

$\theta_{5, II} = \text{atan} 2 \left(\frac{-\sqrt{1-(r_{33})^2}}{r_{33}} \right)$; 对于关节变量 θ_4 , 当 $\theta_5 = \theta_{5, I}$ 时, $\theta_{4, I} = \text{atan} 2 \left(\frac{r_{32}}{r_{31}} \right)$; 当 $\theta_5 = \theta_{5, II}$ 时, $\theta_{4, II} = \pi - \text{atan} 2 \left(\frac{r_{32}}{r_{31}} \right)$; 对于关节变量 θ_6 , 当 $\theta_5 = \theta_{5, I}$ 且 $r_{32} < 0$ 时, 有 $\theta_{6, II} = \tan^{-1} \left(-\frac{r_{23}}{r_{13}} \right) - \pi$ 。

本申请的某些实施例, 所述根据所述关节变量进行轨迹规划, 得到所述机械臂的运动轨迹, 具体为: 通过笛卡尔空间轨迹规划算法根据所述关节变量进行轨迹规划, 得到所述机械臂的运动轨迹。

动作轨迹可以理解为执行器末端位姿与时间形成的数学函数关系, 而机械臂动作轨迹算法根本就为执行器末端位姿与时间的数学函数关系。

以点对点角度观看各个关节, 每个关节从原状态角度在规定 t_f 时间内达到期望角度, 开始设定已知的各关节原初始位姿和期望位姿, 再经过逆运动学算法求得初始状态和期望状态的关节变量。

设初状态时间为 t_0 , 使用三次多项式将各个关节在 (t_0, t_f) 时刻内角度与时间关系进行表达, 初始角度为 θ_0 , 期望角度为 θ_f , 点 (t_0, θ_0) 和 (t_f, θ_f) 将被关节角度函数所通过。

确定四个约束条件以此确定三次多项式插值算法的四个系数。已知机械臂初状态和末状态这两个约束条件, 有 $\theta(t_0) = \theta_0$, $\theta(t_f) = \theta_f$ 。其他两个约束条件为各关节角速度在 t_0 与 t_f 均为零的时刻, 有 $\dot{\theta}(t_0) = 0$, $\dot{\theta}(t_f) = 0$ 。三次多项式插值算式为 $\theta(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3$ 。取三次多项式插值算式得一次导数与二次导数表示关节角速度与关节角加速度, 有 $\dot{\theta}(t) = a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2$, $\ddot{\theta}(t) = 2a_2 + 6a_3 t$ 。

将该上式与四个约束条件联立可得即为末端机械臂位姿与时间之间关系的函数, 有

$$\begin{cases} a_0 = \theta_0 \\ a_1 = 0 \\ a_2 = \frac{3}{t_f^2} (\theta_f - \theta_0) \\ a_3 = -\frac{2}{t_f^3} (\theta_f - \theta_0) \end{cases}$$

三维空间中, 过以 O 点为原点的三条相互垂直且长度相同的数轴, 分别称为横轴(X 轴)、纵轴(y 轴)、竖轴(z 轴)的坐标轴, 符合右手规则, Z 轴的正向是拇指的指向, 四指以 x 轴的 $\frac{\pi}{2}$ 角度转向 y 轴, 构建笛卡尔坐标。

确定笛卡尔空间轨迹意旨在于确定末端执行器在笛卡尔空间轨迹函数, 笛卡尔变量随时间变化的函数是由轨迹样条函数表达, 确立运动体坐标系相对于标定参照物坐标系的期望位姿而明确每个路径点, 路径点是根据 T 相对于 S 确定的, 空间路径生成后, 最后一步的关节变量求解需要运用逆运动学求解, 笛卡尔空间轨迹规划运算容量大, 为了求出实时运行过程中逆运动学算法, 我们要知道实时更新的路径速度。

直线规划, 对应的运动轨迹通常是空间中两个距离较远点间末端执行器作业过程。首先对其位置进行插补, 已知起始和目标点坐标, 确定两点向量, 笛卡尔空间距离就为该向量模的值, 取轨迹为直线的 N 各轨迹点, 则起始点指向第 i 个路径点向量为 $p_i = [p_{ix} \ p_{iy} \ p_{iz}] = \frac{p_f - p_0}{\|p_f - p_0\|}$; 进而第 i 个轨迹点的末端执行器上的坐标为 $[x_i \ y_i \ z_i] = [x_0 \ y_0 \ z_0] + \|p_f - p_0\| p_i$ 。

通过将工具坐标系绕固定轴旋转比拟出起始与目标的变化, 实现姿态的插补。设目标点轨迹旋转矩阵为 R_f , 则起始点姿态旋转矩阵为 R_0 , 固定轴的矩阵为

$R_{axis} = R_0^{-1} R_f = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$ 。机械臂末端执行器绕固定轴旋转角度为 $\varphi_f = \cos^{-1} \left(\frac{r_{11} + r_{22} + r_{33} - 1}{2} \right)$ 。

圆弧规划也是一种笛卡尔空间轨迹规划方法，现对机械臂末端的姿态插补应用圆弧规划算法，设 $p_0 (x_0, y_0, z_0)$ 、 $p_m (x_m, y_m, z_m)$ 、 $p_f (x_f, y_f, z_f)$ 分别为圆弧轨迹的起始、中间和目标点，将三点连接构成轨迹为内接圆圆心为 $o (x, y, z)$ 的三角形，则满足 $(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 = (x - x_m)^2 + (y - y_m)^2 + (z - z_m)^2$ 和 $(x - x_m)^2 + (y - y_m)^2 + (z - z_m)^2 = (x - x_f)^2 + (y - y_f)^2 + (z - z_f)^2$ 。整理后，有 $2(x_m - x_0)x + 2(y_m - y_0)y + 2(z - z_m)z = -x_0^2 - y_0^2 - z_0^2 + x_m^2 + y_m^2 + z_m^2$ 和 $2(x_f - x_0)x + 2(y_f - y_0)y + 2(z_f - z_0)z = -x_0^2 - y_0^2 - z_0^2 + x_f^2 + y_f^2 + z_f^2$ 。

设轨迹圆的平面方程为 $Ax + By + Cz = 1$ 和 $\begin{bmatrix} x_0 & y_0 & z_0 \\ x_m & y_m & z_m \\ x_f & y_f & z_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$ ，转化为矩阵有 $\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(x_m - x_0) & 2(y_m - y_0) & 2(z_m - z_0) \\ 2(x_f - x_0) & 2(y_f - y_0) & 2(z_f - z_0) \\ A & B & C \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -x_0^2 - y_0^2 - z_0^2 + x_m^2 + y_m^2 + z_m^2 \\ -x_0^2 - y_0^2 - z_0^2 + x_f^2 + y_f^2 + z_f^2 \\ 1 \end{bmatrix}$ ，进而可以求得圆心坐标。

设有 n 个轨迹点生成，将一个圆弧角度分 n 份，起始的点与所求第 i 个轨迹点所形成的弧线角度是 $\theta_i = \frac{i}{n} \theta$ 。

末端执行器上的轨迹点 i 从 p_0 出发，绕圆心 o 和垂直轨迹平面轴旋转 θ_i 得到旋转轴圆弧 ω 。

旋转轴方向上的单位向量为 $\omega = \frac{p_0}{\|p_0\|} \times \frac{p_f}{\|p_f\|} = \begin{bmatrix} \omega_x & \omega_y & \omega_z \end{bmatrix}$ 。

旋转矩阵作为该过程变化，则旋转矩阵为 $R_i = \begin{bmatrix} c_{\theta i} + \omega_x^2(1 - c_{\theta i}) & \omega_{xy}(1 - c_{\theta i}) + \omega_z s_{\theta i} & \omega_{xz}(1 - c_{\theta i}) + \omega_y s_{\theta i} \\ \omega_{xy}(1 - c_{\theta i}) + \omega_z s_{\theta i} & c_{\theta i} + \omega_y^2(1 - c_{\theta i}) & \omega_{yz}(1 - c_{\theta i}) + \omega_x s_{\theta i} \\ \omega_{xy}(1 - c_{\theta i}) + \omega_y s_{\theta i} & \omega_{yz}(1 - c_{\theta i}) + \omega_x s_{\theta i} & c_{\theta i} + \omega_z^2(1 - c_{\theta i}) \end{bmatrix}$ 。其中， $\omega_{xy} = \omega_x \omega_y$ ， $c_{\theta i} = \cos \theta_y$ 。

本申请的某些实施例，所述机械臂设置有抓取爪，所述抓取爪设有包括构成电阻桥的多片电阻应变片的力传感器；

所述控制方法包括：

对所述力传感器进行静态标定；

获取在所述抓取爪处于抓取情况下的经静态标定的力传感器的输出电压；

根据所述输出电压得到所述抓取爪的夹持力和力矩；

根据所述夹持力和所述力矩调节所述抓取爪。

参照图 7，首先对力传感器进行静态标定，静态标定法具体是让机械臂运动几个姿态与停止，获取完全静止时传感器数值跟最小二乘法标定自身与负载参数。在三维空间中任何标定的坐标系中，使用六维力传感器能够测量三维力矩 (M_x, M_y, M_z) 与三维力 (F_x, F_y, F_z) 。使机械臂处于静态时，其力和力矩由六维传感器自身误差、传感器与末端执行器重力和末端执行器所受的接触力组成。所以我们需要通过静态标定的方法在末端执行器夹取外部物体所产生接触力时，消除六维传感器自身误差与重力影响，以此精准得到自身与外部接触力信息。

使六维传感器三个维度的力向量的零点处的值记为 (F_{x0}, F_{y0}, F_{z0}) ，三个力矩向量零点处的值记为 (M_{x0}, M_{y0}, M_{z0}) ，传感器的空间直角坐标系定义为 $\{C\}$ 。六维传感器与末端执行器的重力为 G ，其质心坐标为 (x, y, z) ，重力 G 在三个坐标轴方向的作用力以及力矩为

$(G_x, G_y, G_z), (M_{gx}, M_{gy}, M_{gz})$ 。力矩和力之间关系式可以写为：
$$\begin{cases} M_{gx} = G_z \times y - G_y \times z \\ M_{gy} = G_x \times z - G_z \times x \\ M_{gz} = G_y \times x - G_x \times y \end{cases}$$

把六维传感器测出的三个方向的力向量为 (F_x, F_y, F_z) ，其力矩为 (M_x, M_y, M_z) ，如果末端执行器上没有外部作用力，则力和力矩由负载和重力两部分影响，有
$$\begin{cases} G_x = F_x - F_{x0} \\ G_y = F_y - F_{y0} \\ G_z = F_z - F_{z0} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_{gx} = M_x - M_{x0} \\ M_{gy} = M_y - M_{y0} \\ M_{gz} = M_z - M_{z0} \end{cases} \text{和} \begin{cases} M_x = F_z \times y - F_y \times z + M_{x0} + F_{y0} \times z - F_{z0} \times y \\ M_y = F_x \times z - F_z \times y + M_{y0} + F_{z0} \times y - F_{x0} \times z \\ M_z = F_y \times x - F_x \times y + M_{z0} + F_{x0} \times y - F_{y0} \times x \end{cases}$$

$$\text{令} \begin{cases} k_1 = M_{x0} + F_{y0} \times z - F_{z0} \times y \\ k_2 = M_{y0} + F_{z0} \times x - F_{x0} \times z \\ k_3 = M_{z0} + F_{x0} \times y - F_{y0} \times x \end{cases} \text{有} \begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & F_z & -F_y & 1 & 0 & 0 \\ -F_z & 0 & F_x & 0 & 1 & 0 \\ F_y & -F_x & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{bmatrix}.$$

利用 N 个不同姿态表示机械臂末端执行器的位姿，得到 N 组六维传感器数值， $M=F \cdot A$ ，

$$\begin{bmatrix} M_{x1} \\ M_{y1} \\ M_{z1} \\ M_{x2} \\ M_{y2} \\ M_{z2} \\ \vdots \\ M_{xN} \\ M_{yN} \\ M_{zN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & F_{z1} & -F_{y1} & 1 & 0 & 0 \\ -F_{z1} & 0 & F_{x1} & 0 & 1 & 0 \\ F_{y1} & -F_{x1} & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & F_{z2} & -F_{y2} & 1 & 0 & 0 \\ -F_{z2} & 0 & F_{x2} & 0 & 1 & 0 \\ F_{y2} & -F_{x2} & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & F_{zN} & -F_{yN} & 1 & 0 & 0 \\ -F_{zN} & 0 & F_{xN} & 0 & 1 & 0 \\ F_{yN} & -F_{xN} & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ k_1 \\ k_2 \\ k_3 \end{bmatrix}$$

其中 $A=[x, y, z, k_1, k_2, k_3]^T$ 。有。

矩阵最小二乘法的解是 $A=(F^T F)^{-1} \cdot F^T M$ ，可以求得负载的中心在六维传感器坐标系中坐标的 (x, y, z) 与常数 (k_1, k_2, k_3) 值。

设空间坐标系为 $\{O\}$ ，机械臂基坐标系为 $\{B\}$ ，则机械臂基坐标系与空间坐标系的姿态变换矩阵为 ${}^C_W R$ ，空间坐标系中，重力表示为：
$${}^W G = [0, 0, -g]^T$$
。

在六维力传感器坐标系 $\{C\}$ 中，重力向量表示为：
$${}^C G = {}^C_W R \cdot {}^W G = {}^W_C R^T \cdot {}^W G$$
。

则有：
$$[F_x, F_y, F_z]^T = [G_x, G_y, G_z]^T + [F_{x0}, F_{y0}, F_{z0}]^T = {}^W_C R^T \cdot {}^W G + [F_{x0}, F_{y0}, F_{z0}]^T$$
。

利用 N 个不同姿态对应 N 组传感器数据可得出， $f=R \cdot B$ ，计算出 $B=[0, 0, -g, F_{x0}, F_{y0}, F_{z0}]^T$ 。

矩阵与最小二乘式计算得：
$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} = [{}^W_C R^T \ I] \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \\ F_{x0} \\ F_{y0} \\ F_{z0} \end{bmatrix} = [{}^C_W R \ I] \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \\ F_{x0} \\ F_{y0} \\ F_{z0} \end{bmatrix}; \text{进而有:}$$

$$\begin{bmatrix} F_{x1} \\ F_{y1} \\ F_{z1} \\ F_{x2} \\ F_{y2} \\ F_{z2} \\ \vdots \\ F_{xn} \\ F_{yn} \\ F_{zn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^w R_1^T & I \\ {}^w R_2^T & I \\ \vdots & \vdots \\ {}^w R_n^T & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \\ F_{x0} \\ F_{y0} \\ F_{z0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} {}^c R_1 & I \\ {}^c R_2 & I \\ \vdots & \vdots \\ {}^c R_n & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \\ F_{x0} \\ F_{y0} \\ F_{z0} \end{bmatrix}$$

由此看出矩阵最小二乘法的解是 $B=(R^T R)^{-1} \cdot R^T f$ ，基于数据从而解算出传感器力的零点值，并且我们知道重力大小 G ，把已经算出的负载中心在六维传感器坐标系中坐标的 (x, y, z) 与常数 (k_1, k_2, k_3) 值，代入合并得：

$$\begin{cases} M_{x0} = k_1 - F_{y0} \times z + F_{z0} \times y \\ M_{y0} = k_2 - F_{z0} \times x + F_{x0} \times z \\ M_{z0} = k_3 - F_{x0} \times z + F_{y0} \times x \end{cases}$$

基于所上得以解算出六维力传感器的零点、负载重心得空间坐标系中的坐标。

则外部力在传感器三个坐标轴上的分量为：

$$\begin{cases} F_{ex} = F_x - F_{x0} - G_x \\ F_{ey} = F_y - F_{y0} - G_y \\ F_{ez} = F_z - F_{z0} - G_z \end{cases}$$

外部力矩在传感器三个坐标轴上的分量为：

$$\begin{cases} M_{ex} = M_x - M_{x0} - M_{gx} \\ M_{ey} = M_y - M_{y0} - M_{gy} \\ M_{ez} = M_z - M_{z0} - M_{gz} \end{cases}$$

机械臂末端执行器的机械二指手爪利用自适应方法，能感知手指与外界物体所产生相互的力来判断是否夹取到物体，然后根据力传感器返回数值进行处理，解算出合适力大小并使用力位混合控制以“灵巧手”方式实现稳定夹持不同形状、大小的物体。

参照图 8，在手指的两端都贴了四片一样的电阻应变片，构成全桥电阻应变片，手指内侧贴上 R_1 和 R_3 ，手指外侧贴上 R_2 和 R_4 ，以此测出两个手指所受力矩。

当末端执行器机械手爪一个手指接触到物体产生外力时，应变片会发生形变，手指受到力矩。应变片产生应变分别为 ε_1 、 ε_2 、 ε_3 、 ε_4 ， K 为应变片灵敏系数，当输入加 U_1 电压时，电桥产生 U_0 输出电压为： $U_0 = \frac{KU_1}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$ 。

当机械手爪与被夹物体产生接触力越大，应变片形变就越大，同时由公式得出 U_0 也会越大。最后电桥所产生的输出电压经过放大和滤波输入末端执行器机械爪控制系统，再经内部 A/D 采集转化，便可以得到夹持力和其力矩大小，信息反馈到机械臂控制系统，并调整相应模式以“灵巧手”方式抓取目标物体。

本申请的实施例，提供了一种电子设备。电子设备包括：存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，所述处理器执行所述计算机程序时实现如上所述的机械臂的控制方法。

该电子设备可以为包括平板电脑、车载电脑等任意智能终端。

总体而言，对于电子设备的硬件结构，处理器可以采用通用的 CPU（Central Processing Unit，中央处理器）、微处理器、应用专用集成电路（Application Specific Integrated Circuit，ASIC）、或者一个或多个集成电路等方式实现，用于执行相关程序，以实现本申请实施例所提供的技术方案。

存储器可以采用只读存储器（Read Only Memory, ROM）、静态存储设备、动态存储设备或者随机存取存储器（Random Access Memory, RAM）等形式实现。存储器可以存储操作系统和其他应用程序，在通过软件或者固件来实现本说明书实施例所提供的技术方案时，相关的程序代码保存在存储器中，并由处理器来调用执行本申请实施例的道路坑洞检测方法。

输入/输出接口用于实现信息输入及输出。

通信接口用于实现本设备与其他设备的通信交互，可以通过有线方式（例如 USB、网线等）实现通信，也可以通过无线方式（例如移动网络、WIFI、蓝牙等）实现通信。

总线在设备的各个组件（例如处理器、存储器、输入/输出接口和通信接口）之间传输信息。处理器、存储器、输入/输出接口和通信接口通过总线实现彼此之间在设备内部的通信连接。

本申请的实施例，提供了一种计算机可读存储介质。计算机可读存储介质存储有计算机可执行指令，所述计算机可执行指令用于执行如上所述的机械臂的控制方法。

本领域普通技术人员可以理解，上文中所公开方法中的全部或某些步骤、系统可以被实施为软件、固件、硬件及其适当的组合。某些物理组件或所有物理组件可以被实施为由处理器，如中央处理器、数字信号处理器或微处理器执行的软件，或者被实施为硬件，或者被实施为集成电路，如专用集成电路。这样的软件可以分布在计算机可读介质上，计算机可读介质可以包括计算机存储介质（或非暂时性介质）和通信介质（或暂时性介质）。如本领域普通技术人员公知的，术语计算机存储介质包括在用于存储信息（诸如计算机可读指令、数据结构、程序模块或其他数据）的任何方法或技术中实施的易失性和非易失性、可移除和不可移除介质。计算机存储介质包括但不限于 RAM、ROM、EEPROM、闪存或其他存储器技术、CD-ROM、数字多功能盘（DVD）或其他光盘存储、磁盒、磁带、磁盘存储或其他磁存储装置、或者可以用于存储期望的信息并且可以被计算机访问的任何其他的介质。此外，本领域普通技术人员公知的是，通信介质通常包含计算机可读指令、数据结构、程序模块或者诸如载波或其他传输机制之类的调制数据信号中的其他数据，并且可包括任何信息递送介质。在本说明书的上述描述中，参考术语“一个实施方式/实施例”、“另一实施方式/实施例”或“某些实施方式/实施例”等的描述意指结合实施方式或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本申请的至少一个实施方式或示例中。在本说明书中，对上述术语的示意性表述不一定指的是相同的实施方式或示例。而且，描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任何一个或多个实施方式或示例中以合适的方式结合。

本领域普通技术人员可以理解，上文中所公开方法中的全部或某些步骤、系统、设备中的功能模块/单元可以被实施为软件、固件、硬件及其适当的组合。

上述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的，作为单元显示的部件可以是或者也可以不是物理单元，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个网络单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

另外，在本申请各个实施例中的各功能单元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。

尽管已经示出和描述了本申请的实施方式，本领域的普通技术人员可以理解：在不脱离本申请的原理和宗旨的情况下可以对这些实施方式进行多种变化、修改、替换和变型，本申

请的范围由实施例及其等同物限定。

以上是对本申请的较佳实施进行了具体说明，但本申请并不限于实施例，熟悉本领域的技术人员在不违背本申请精神的前提下可做作出种种的等同变形或替换，这些等同的变形或替换均包含在本实施例所限定的范围内。

权 利 要 求 书

1、一种机械臂的控制方法，包括：

获取所述机械臂的结构参数；

根据所述结构参数构建所述机械臂的每个关节的关节坐标系，联合多个所述关节坐标系构建所述机械臂的关节坐标系模型；

根据所述机械臂的关节坐标系模型构建所述机械臂的正运动学方程和逆运动学方程；

根据摄像头获取的目标图像得到机械臂的末端位姿，根据所述末端位姿、所述正运动学方程和所述逆运动学方程解算出关节变量；

根据所述关节变量进行轨迹规划，得到所述机械臂的运动轨迹；

根据所述运动轨迹控制所述机械臂进行运动。

2、根据权利要求1所述的机械臂的控制方法，其特征在于，所述根据所述结构参数构建所述机械臂的每个关节的关节坐标系，包括：

对每个关节，以关节的旋转轴线作为关节坐标系的Z轴，相邻两个关节轴线的公垂线与前一个Z轴的交点作为关节坐标系的原点，公垂线所在直线方向作为关节坐标系的X轴，根据所述关节坐标系的Z轴、所述关节坐标系的X轴和所述关节坐标系的原点按照右手定则确定关节坐标系的Y轴，进而构建关节坐标系。

3、根据权利要求2所述的机械臂的控制方法，其特征在于，所述联合多个所述关节坐标系构建所述机械臂的关节坐标系模型，包括：

联合多个所述关节坐标系确定连杆长度参数、连杆扭转参数、连杆偏移参数和关节转角参数；

根据所述连杆长度参数、所述连杆扭转参数、所述连杆偏移参数和所述关节转角参数构建所述机械臂的关节坐标系模型。

4、根据权利要求1所述的机械臂的控制方法，其特征在于，根据所述机械臂的关节坐标系模型构建所述机械臂的正运动学方程，包括：

根据所述机械臂的关节坐标系模型得到多个相邻关节坐标系之间的齐次变换矩阵；

根据多个相邻关节坐标系之间的齐次变换矩阵得到所述机械臂的正运动学方程。

5、根据权利要求1所述的机械臂的控制方法，其特征在于，所述根据所述末端位姿、所述正运动学方程和所述逆运动学方程解算出关节变量，包括：

根据所述末端位姿设置各关节的期望位姿；

根据各关节的初始位姿和所述期望位姿构建关节角度函数；

根据所述正运动学方程、所述逆运动学方程和所述关节角度函数结算出关节变量。

6、根据权利要求1所述的机械臂的控制方法，其特征在于，所述根据所述关节变量进行轨迹规划，得到所述机械臂的运动轨迹，具体为：通过笛卡尔空间轨迹规划算法根据所述关节变量进行轨迹规划，得到所述机械臂的运动轨迹。

7、根据权利要求1所述的机械臂的控制方法，其特征在于，所述机械臂设置有抓取爪，所述抓取爪设有包括构成电阻桥的多片电阻应变片的力传感器；

所述控制方法包括：

对所述力传感器进行静态标定；

获取在所述抓取爪处于抓取情况下的经静态标定的力传感器的输出电压；

根据所述输出电压得到所述抓取爪的夹持力和力矩；

根据所述夹持力和所述力矩调节所述抓取爪。

8、一种代步车，其特征在于，所述代步车设有机械臂，所述机械臂设有多个关节，所述

机械臂的首端设有摄像头，所述机械臂的末端设有基座；所述机械臂应用如权利要求 1 至 7 任一项所述的控制方法进行控制。

9、一种电子设备，包括：存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现如权利要求 1 至 7 中任一项所述的机械臂的控制方法。

10、一种计算机可读存储介质，其特征在于，存储有计算机可执行指令，所述计算机可执行指令用于执行如权利要求 1 至 7 中任一项所述的机械臂的控制方法。

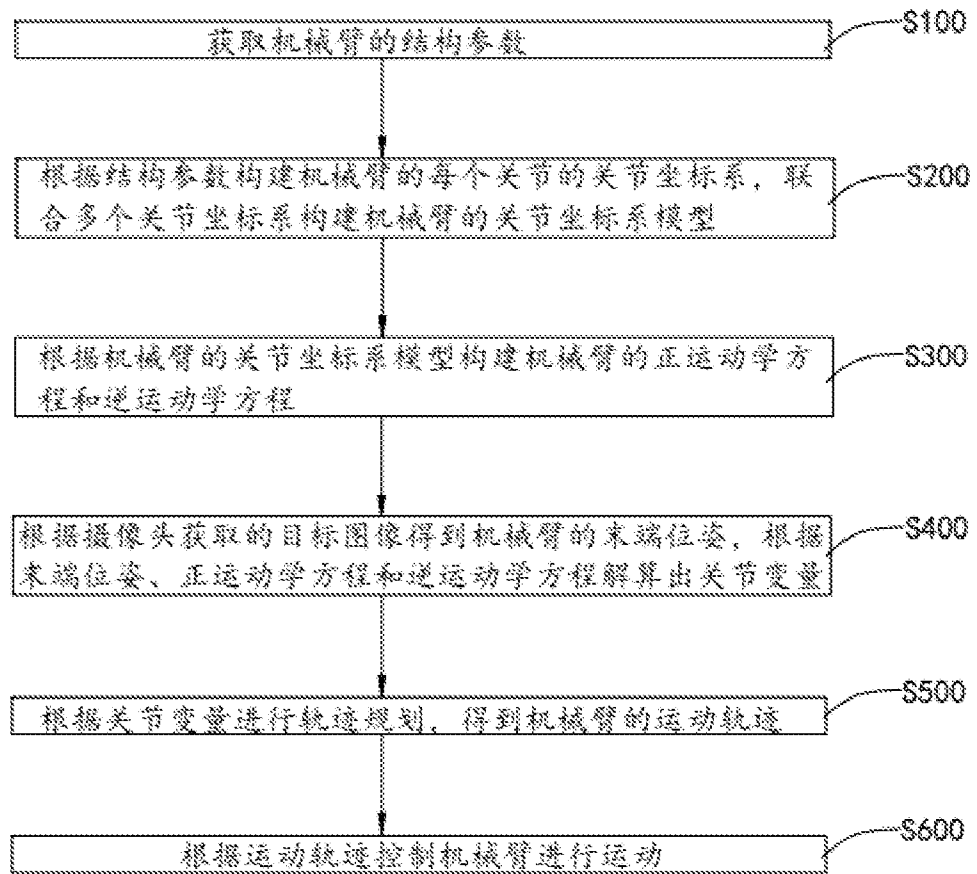


图 1

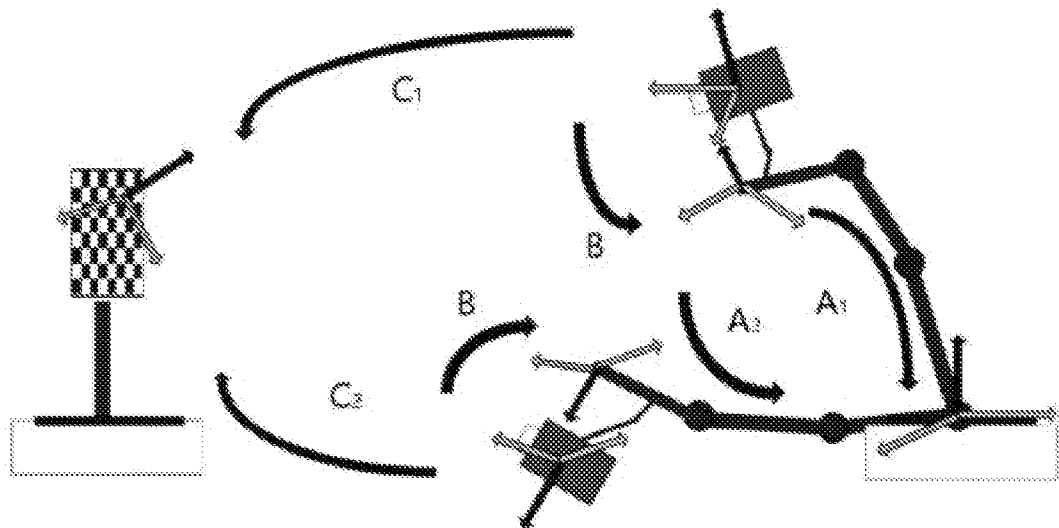


图 2

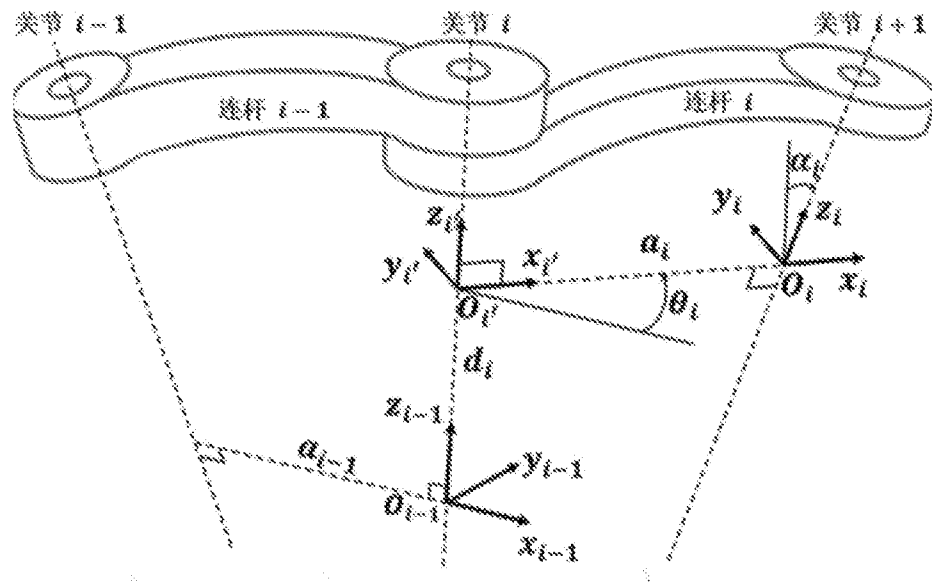


图 3

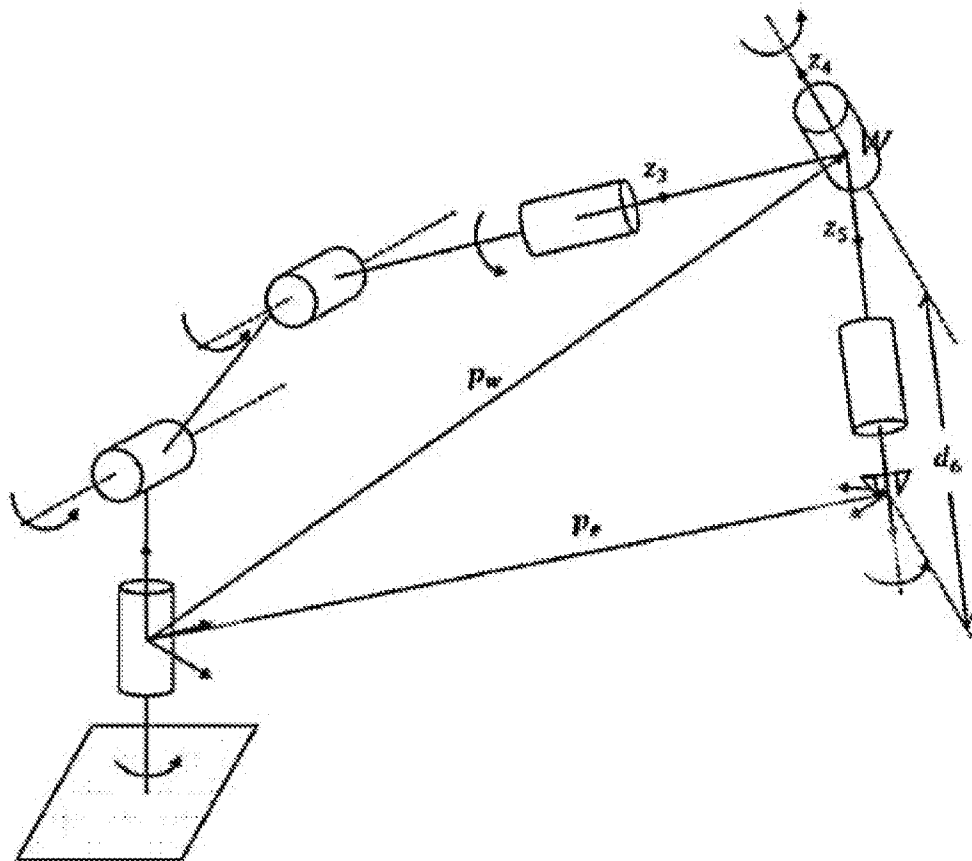


图 4

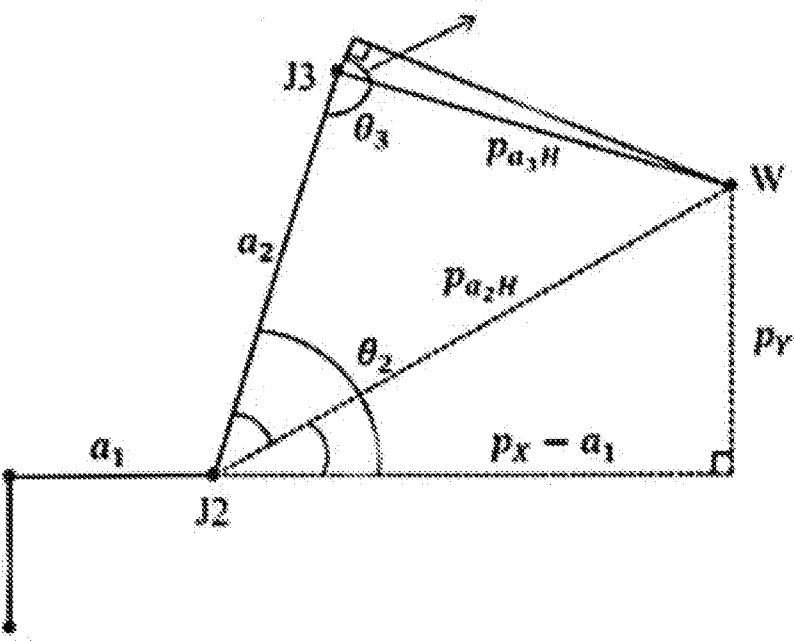


图 5

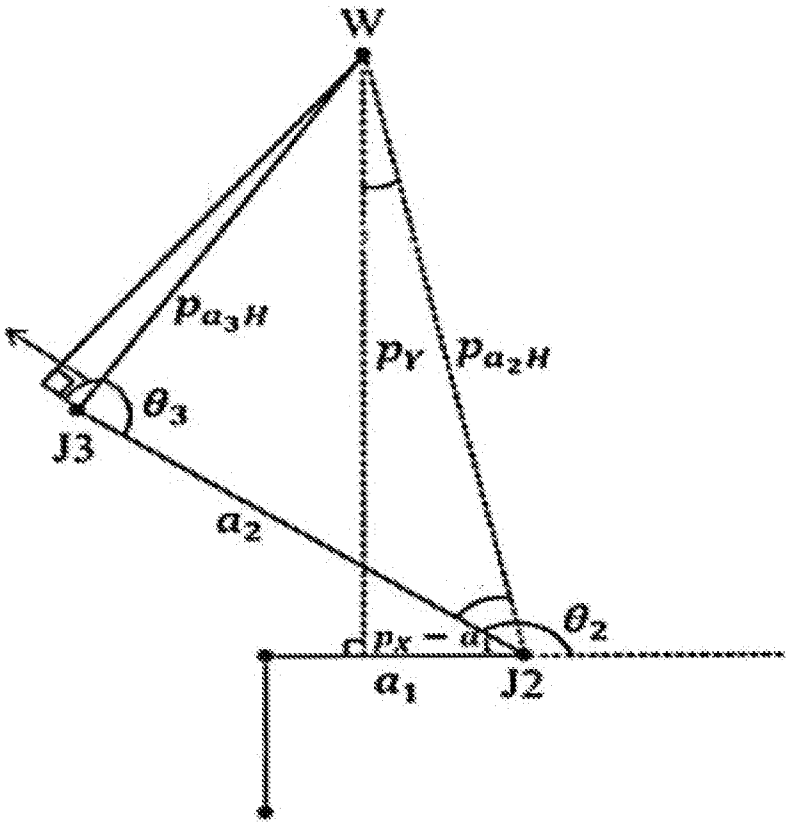


图 6

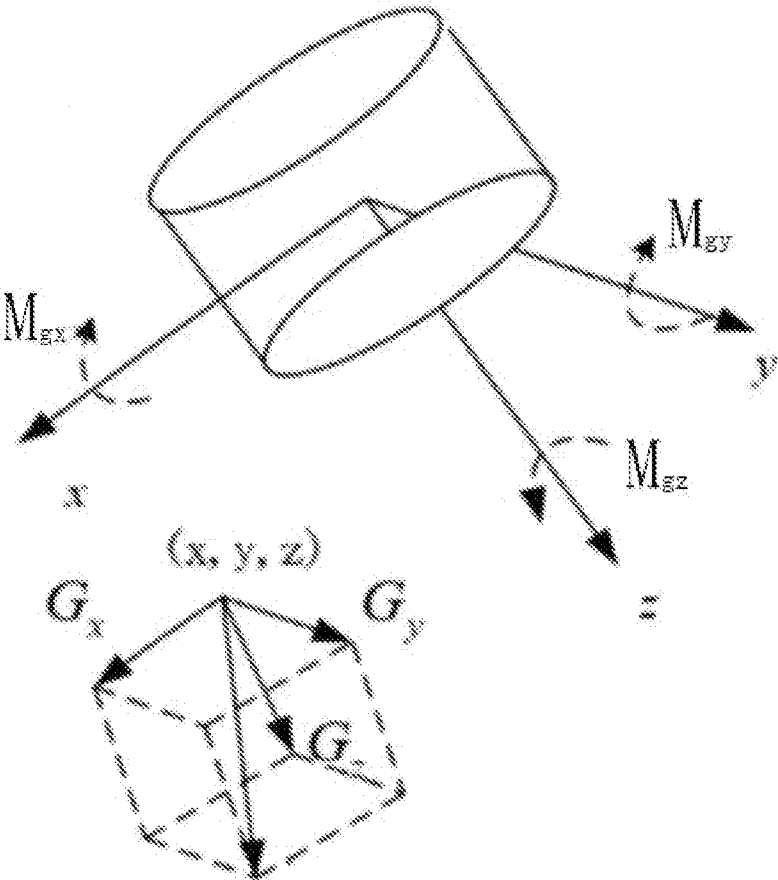


图 7

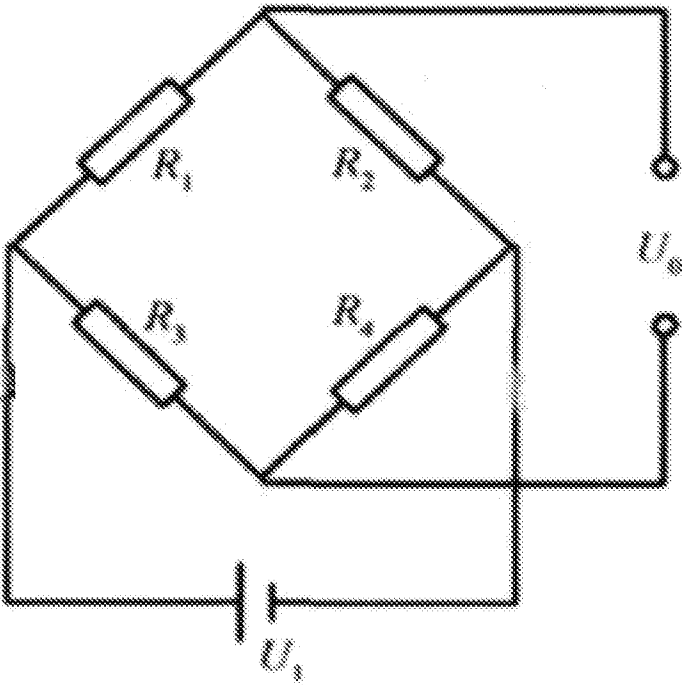


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/138812

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B25J5/00(2006.01)i; B25J9/16(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: B25J

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNTXT, ENTXTC, VEN, DWPI, CJFD, CNKI: 车, 机械臂, 机器人, 手, 抓, 运动学, 建模, 轨迹, 路径, 位姿, 规划, 控制, 关节, 坐标, 摄像, 相机, 力, 变形, 形变, 传感, 电压, 电阻, 感知, robot, manipulator, arm, scooter, vehicle, CGV, joint, track, path, structure, coordinate, kinematics, image, camera, force, sens+, resistance.

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 116038647 A (WUYI UNIVERSITY) 02 May 2023 (2023-05-02) description, paragraphs 0047-0146, and figures 1-8	1-10
Y	CN 112084576 A (YANCHENG INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 15 December 2020 (2020-12-15) description, paragraphs 0047-0082, and figures 1-3	1-10
Y	CN 115648200 A (HANGZHOU JINGWU INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.) 31 January 2023 (2023-01-31) description, paragraphs 0064-0157, and figures 1-6	1-10
Y	CN 106945023 A (HUAZHONG AGRICULTURAL UNIVERSITY) 14 July 2017 (2017-07-14) description, paragraphs 0044-0100, and figures 1-10	7
A	CN 107589934 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 16 January 2018 (2018-01-16) entire document	1-10



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“D” document cited by the applicant in the international application

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 February 2024

Date of mailing of the international search report

01 March 2024

Name and mailing address of the ISA/CN

China National Intellectual Property Administration (ISA/
CN)
China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District,
Beijing 100088

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/138812

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 109895101 A (DALIAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 18 June 2019 (2019-06-18) entire document	1-10
A	CN 113127989 A (SHENYANG INSTITUTE OF AUTOMATION, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 16 July 2021 (2021-07-16) entire document	1-10
A	CN 113601509 A (ANHUI YUANGUJI INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.) 05 November 2021 (2021-11-05) entire document	1-10
A	US 2019184560 A1 (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 20 June 2019 (2019-06-20) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/138812

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	116038647	A	02 May 2023	None			
CN	112084576	A	15 December 2020	None			
CN	115648200	A	31 January 2023	None			
CN	106945023	A	14 July 2017	None			
CN	107589934	A	16 January 2018	None			
CN	109895101	A	18 June 2019	None			
CN	113127989	A	16 July 2021	None			
CN	113601509	A	05 November 2021	None			
US	2019184560	A1	20 June 2019	WO	2018133439	A1	26 July 2018

A. 主题的分类

B25J5/00(2006.01)i; B25J9/16(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: B25J

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CNTEXT,ENTXTC,VEN,DWPI,CJFD,CNKI: 车, 机械臂, 机器人, 手, 抓, 运动学, 建模, 轨迹, 路径, 位姿, 规划, 控制, 关节, 坐标, 摄像, 相机, 力, 变形, 形变, 传感, 电压, 电阻, 感知, robot, manipulator, arm, scooter, vehicle, CGV, joint, track, path, structure, coordinate, kinematics, image, camera, force, sens+, resistance.

C. 相关文件

类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 116038647 A (五邑大学) 2023年5月2日 (2023 - 05 - 02) 说明书0047段-0146段, 图1-8	1-10
Y	CN 112084576 A (盐城工学院) 2020年12月15日 (2020 - 12 - 15) 说明书0047-0082段、图1-3	1-10
Y	CN 115648200 A (杭州景吾智能科技有限公司) 2023年1月31日 (2023 - 01 - 31) 说明书0064-0157段、图1-6	1-10
Y	CN 106945023 A (华中农业大学) 2017年7月14日 (2017 - 07 - 14) 说明书0044-0100段、图1-10	7
A	CN 107589934 A (大连理工大学) 2018年1月16日 (2018 - 01 - 16) 全文	1-10
A	CN 109895101 A (大连理工大学) 2019年6月18日 (2019 - 06 - 18) 全文	1-10
A	CN 113127989 A (中国科学院沈阳自动化研究所) 2021年7月16日 (2021 - 07 - 16) 全文	1-10

☒ 其余文件在C栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2024年2月23日

国际检索报告邮寄日期

2024年3月1日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

授权官员

张倩茹

电话号码 (+86) 010-53960901

PCT/ISA/210 表(第2页) (2022年7月)

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	CN 113601509 A (安徽元古纪智能科技有限公司) 2021年11月5日 (2021 - 11 - 05) 全文	1-10
A	US 2019184560 A1 (BEIJING UNIVERSITY OF TECHNOLOGY) 2019年6月20日 (2019 - 06 - 20) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2023/138812

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	116038647	A	2023年5月2日	无	
CN	112084576	A	2020年12月15日	无	
CN	115648200	A	2023年1月31日	无	
CN	106945023	A	2017年7月14日	无	
CN	107589934	A	2018年1月16日	无	
CN	109895101	A	2019年6月18日	无	
CN	113127989	A	2021年7月16日	无	
CN	113601509	A	2021年11月5日	无	
US	2019184560	A1	2019年6月20日	WO 2018133439 A1	2018年7月26日