

[新设备·新材料·新方法]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2017.02.013

新型二自由度移动并联机构设计

柳建飞¹, 张伟中²

(1. 浙江理工大学机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018;
2. 浙江机电职业技术学院电气电子工程学院, 浙江 杭州 310053)

摘要:针对工业设备快速抓取物件的需求,基于并联机构具有的优点,提出了一种二自由度可快速移动的并联机构。对该机构的运动学进行分析研究,创建该平面二自由度的运动学模型,利用勾股定理推算出该机构的正反解,继而得到雅克比矩阵。最后利用杆件约束等条件得到该机构的工作空间。通过SolidWorks和MATLAB仿真软件求正反解验证了设计的正确性。该并联机构的横向位移较大,满足设计要求。

关键词:并联机构;运动学分析;工作空间;雅克比矩阵;SolidWorks软件;MATLAB软件

中图分类号:TP241.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1005-2895(2017)02-0063-04

Mechanism Design of Novel Parallel with 2-DOF

LIU Jianfei¹, ZHANG Weizhong²

(1. School of Mechanical Engineering and Automatic, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;
2. Department of Electrical Engineering, Zhejiang Institute of Mechanical and Electrical Engineering, Hangzhou 310053, China)

Abstract: According to the need of industrial equipment grabbing objects quickly and the advantages of parallel mechanism, a new kind of parallel mechanism with 2-DOF was studied aiming at the characteristics of catching things fast. Kinematic analysis was studied. The kinematic model of the mechanism was setting up, and the forward and inverse kinematics were solved by the Pythagorean theorem. The Jacobian matrix was derived. The workspace which conforms to the actual constraint conditions was obtained. The correctness of the forward and inverse kinematics was verified by SolidWorks and MATLAB simulation software. The parallel mechanism has a larger horizontal displacement, and it can satisfy the demand.

Keywords: parallel mechanism; kinematic analysis; workspace; Jacobian matrix; SolidWorks software; MATLAB software

并联机构是静平台与动平台通过多个运动分支相互连接起来形成具有多个自由度的整体。并联机构各个分支相互支撑,刚度强,承载能力大,且由于各个分支之间相互联系故而定位精度也高,同时并联机构还具有误差小^[1-2]等优点。并联机构在工业中的应用非常广泛,如高速智能柔性并联机械手 Delta 机器人,体积小,工作效率高,特别是在食品加工、分拣包装上有着非常多的应用。二自由度并联机构相对于其他多自由度并联机构具有设计和控制维护成本低等优点。国内外许多学者对这二自由度并联机构进行了大量的研究,并取得了大量的成果。林协源等^[3]研究了一种 2-

PPA 二自由度并联机构,用于发光二极管电子封装设备;孔淑平^[4]对二自由度的运动模型、轨迹规划、实体模型的建造等进行了研究分析;吴伟峰等^[5]针对物料搬运提出了一种横向有较大位移的二自由度并联机构;李寅翔等^[6]对一种有较大横向位移的物料搬运二自由度机械手进行了标定,提高了定位精度;李秦川等^[7]通过对改变模块化的分支运动链之间的相互结构关系,研究出了一类可重组的少自由度并联机构;周玉林等^[8]对 UP + R 球面二自由度机构进行了分析研究。

本课题组提出另一种二自由度移动并联机构。通过计算推导出该机构的正反解,得到该机构的雅克比

收稿日期:2016-08-30;修回日期:2016-12-13

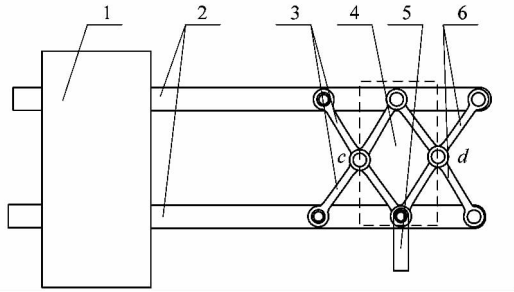
基金项目:浙江省高校重中之重学科开放基金资助(ZSTUME01A07)。

第一作者简介:柳建飞(1991),男,浙江舟山人,硕士研究生,主要研究方向为并联机器人。通信作者:张伟中(1987),男,浙江衢州人,博士,副教授,主要研究方向为机器人技术。E-mail:zwz_Ly@163.com

矩阵,然后算出该机构的工作空间,进而得到该机构的运动学^[9-10]特性。通过这些分析为以后样机制作做了充分的理论准备。

1 机构简介

该二自由度并联机构示意图如图1所示,整个机构由定平台、驱动杆以及几个连杆构成。两平行导轨2放置在固定装置1中,连杆3和连杆6固定在平行导轨上。四连杆机构4(虚线矩形框内连杆)*c*、*d*端分别固定在连杆3和连杆6上。机械手5固定在四连杆机构4的下方一个转动副上,并且始终保持竖直。



1—固定装置;2—导轨;3—连杆;4—四连杆机构;
5—机械手;6—连杆。

图1 二自由度并联机构示意图
Figure 1 Simple map of parallel mechanism with 2-DOF

2 二自由度机构的运动学分析

2.1 建立坐标系以及机构正解

图2所示是该机构的坐标系,坐标原点固定在下面的导轨上。*a*₁、*b*₁和*a*₂、*b*₂分别固定在上下2个导轨上。上下2个导轨之间的距离为*h*。*a*₁、*b*₁之间的距离和*a*₂、*b*₂的距离相等,均为*n*。连杆的长度均为*m*。机械手末端*ef*长度为*g*,且*ef*始终垂直向下。*c*点坐标为(*x*₁, *y*₁),*d*点坐标为(*x*₂, *y*₂),*e*点坐标为(*x*₃, *y*₃),末端点*f*的坐标为(*X*, *Y*)。

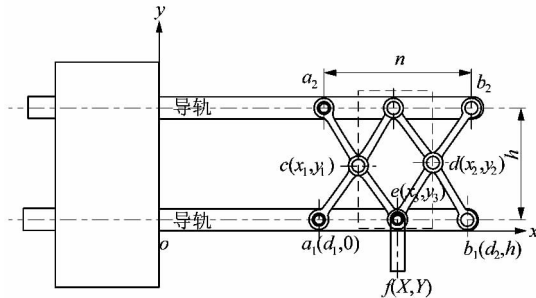


图2 二自由度并联机构坐标系
Figure 2 Coordinates system of parallel mechanism with 2-DOF

正解是已知输入参数求出末端的位置。即已知*a*₁、*a*₂的坐标分别为(*d*₁, 0)、(*d*₂, *h*),求末端点*f*的位置。根据勾股定理可以得出:

$$y_1^2 + (x_1 - d_1)^2 = m^2, \quad (1)$$

$$(x_1 - d_2)^2 + (h - y_1)^2 = m^2. \quad (2)$$

分别展开两式,式(1)和(2)相减后得:

$$d_1^2 - 2d_1x_1 - d_2^2 - h^2 + 2d_2x_1 + 2hy_1 = 0,$$

即
$$x_1 = \frac{d_1^2 - d_2^2 - h^2}{2(d_1 - d_2)} + \frac{h}{d_1 - d_2}y_1。$$

令
$$p_1 = \frac{d_1^2 - d_2^2 - h^2}{2(d_1 - d_2)}, p_2 = \frac{h}{d_1 - d_2},$$

则
$$x_1 = p_1 + p_2y_1。$$

代入方程(1),展开后得:

$$(1 + p_2^2)y_1^2 + (2p_1p_2 - 2d_1p_2)y_1 + p_1^2 + d_1^2 - 2d_1p_1 - m^2 = 0。$$

令
$$p_3 = 1 + p_2^2, p_4 = 2p_1p_2 - 2p_2d_1, p_5 = (p_1 - d_1)^2 - m^2。$$

则可以得到 *y*₁ 和 *x*₁ 的解:

$$x_1 = p_1 + \frac{-p_2p_4 \pm p_2 \sqrt{p_4^2 - 4p_3p_5}}{2p_3};$$

$$y_1 = \frac{-p_4 \pm \sqrt{p_4^2 - 4p_3p_5}}{2p_3}。$$

*x*₂、*y*₂和*x*₁、*y*₁的计算方法相同,列出式(3)和式(4),根据如上的计算方法可推导出*x*₂、*y*₂的解。

$$(h - y_2)^2 + (d_2 + n - x_2)^2 = m^2, \quad (3)$$

$$y_2^2 + (d_1 + n - x_2)^2 = m^2. \quad (4)$$

可求得:

$$x_2 = q_1 + \frac{-p_2q_2 \pm p_2 \sqrt{q_2^2 - 4p_3q_3}}{2p_3};$$

$$y_2 = \frac{-q_2 \pm \sqrt{q_2^2 - 4p_3q_3}}{2p_3}。$$

其中:

$$q_1 = \frac{(d_1 + n)^2 - h^2 - (d_2 + n)^2}{2(d_1 - d_2)}, q_2 = 2q_1p_2 + 2p_2 \cdot$$

$$(d_1 + n), q_3 = (d_1 + n)^2 + q_1^2 + 2q_1(d_1 + n) - m^2。$$

由于菱形的边长等长,因此Δ*cde*为等腰三角形。故*cd*的中点坐标(*x*_{*m*}, *y*_{*m*})为:

$$x_m = \frac{x_1 + x_2}{2}, y_m = \frac{y_1 + y_2}{2}。$$

根据菱形的变化和勾股定理,可得:

$$(y_m - y_1)^2 + (x_m - x_1)^2 + (y_3 - y_m)^2 + (x_3 - x_m)^2 = m^2, \quad (5)$$

$$(y_3 - y_1)^2 + (x_3 - x_1)^2 = m^2. \quad (6)$$

根据 x_2, y_2 的方法可求得:

$$x_3 = r_2 + \frac{-r_1 r_4 \pm r_1 \sqrt{r_4^2 - 4r_3 r_5}}{2p_3};$$

$$y_3 = \frac{-r_4 \pm \sqrt{r_4^2 - 4r_3 r_5}}{2r_3}.$$

其中:

$$r_1 = \frac{y_1 - y_2}{x_2 - x_1}, r_2 = \frac{y_2^2 - y_1^2 + x_2^2 - x_1^2}{2(x_2 - x_1)}, r_3 = 1 + r_1^2, r_4 = 2r_1 r_2 - 2y_1 - 2x_1 r_1, r_5 = r_2^2 - 2x_1 r_2 + y_1^2 + x_1^2 - m^2.$$

则:

$$X = x_3;$$

$$Y = y_3 - g.$$

2.2 位置反解

该并联机构位置反解即为已知末端执行器上动坐标系原点 f 的坐标。已知末端点 f 的坐标就可以求出 e 点的坐标,然后再通过联立方程(1)~(4),便可以求出 d_1 和 d_2 。

2.3 速度分析

雅克比矩阵主要用于对机器人的速度分析,通过正反解进行一阶求导得到雅可比矩阵。并联机构的速度分析可以通过雅可比矩阵来实现。在位置正解中得到的末端点的表达式,通过对此表达式两端求全微分^[12]可得:

$$A \begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \end{bmatrix} - B \begin{bmatrix} \dot{d}_1 \\ \dot{d}_2 \end{bmatrix} = 0.$$

其中:

$$B = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}.$$

式中: A_{11} 是 X 对 d_1 求一阶偏导; A_{12} 是 X 对 d_2 求一阶偏导; A_{21} 是 Y 对 d_1 求一阶偏导, A_{22} 是 Y 对 d_2 求一阶偏导。则速度方程的表达式为:

$$\begin{bmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \end{bmatrix} = J \begin{bmatrix} \dot{d}_1 \\ \dot{d}_2 \end{bmatrix}.$$

2.4 工作空间分析

计算并联机构的工作空间实际上就是求并联机构末端执行器能够达到的极限位置所组成的空间。求解机构的工作空间有很多方法。最常用的一种方法就是通过给出机构的驱动副的步长,找到所有可行的解,然后把这些可行的点组合起来就能得到机构的工作空间。

另一种方法只针对比较简单的并联机构,比如二

自由度并联机构。能够通过几何关系确定机构的运动空间。但是这种方法要考虑很多因素:杆长的限制条件,运动副位置以及奇异位置等因素。

由于本文中二自由度机构比较简单,所以用第2种方法可以求得。只需要避免机构到奇异位置就可以满足要求。具体约束条件为:

$$\begin{cases} n = 100 \\ h = 100 \\ m = 50 \\ g = 50 \\ 20 \leq d_1 \leq 200 \\ 20 \leq d_2 \leq 200 \\ -48 \leq d_1 - d_2 \leq 48. \end{cases}$$

杆长条件限制完毕后,只需要根据几何关系确定该机构的极限位置,并且其余位置在极限位置里都能够到达,就能够得到机构的工作空间。求得该机构的工作空间如图3所示。

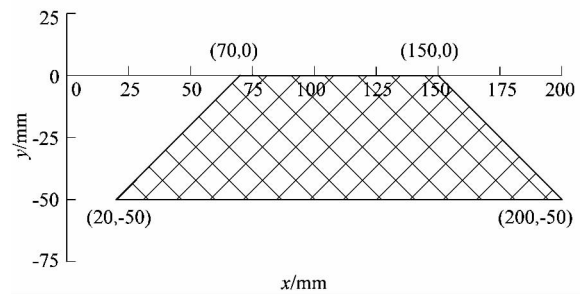


图3 二自由度并联机构工作空间
Figure 3 Workspace of parallel mechanism with 2-DOF

3 运动学仿真以及验证

建立该机构的简易 SolidWorks 三维模型,在仿真模块中将正反解条件输入到杆长驱动里面,然后就得到该机构末端点的运动轨迹。该轨迹如图4所示。

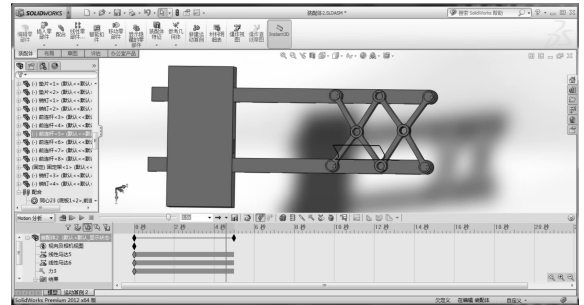


图4 机构的运动轨迹
Figure 4 Trajectory of mechanism

(下转第69页)