

# 基于 MATLAB Robotics 工具箱的 SCARA 机器人轨迹规划与仿真

左富勇, 胡小平, 谢珂, 朱秋玲

(湖南科技大学 机械设备健康维护湖南省重点实验室, 湖南 湘潭 411201)

**摘 要:** 为研究 SCARA 机器人的轨迹规划, 在 MATLAB 环境下, 对该机器人运动学参数进行了设计, 利用 Robotics toolbox 工具箱编制了简单的程序语句, 建立该机器人运动学模型, 讨论了标准 D-H 参数和改进 D-H 参数建模方法的区别, 并对机器人的轨迹规划进行了仿真. 通过仿真, 直观地显示了机器人关节的运动, 得到了连续平滑的机器人关节角度轨迹曲线. 仿真实验表明, 所设计的运动学参数是正确的, 从而达到了预定的目标. 该工具箱可以对机器人进行图形仿真, 分析真实机器人控制时的数据结果, 对机器人的研究开发具有较高的经济实用价值.

**关键词:** 机器人; 轨迹规划; MATLAB; 仿真

**中图分类号:** TP242.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9102(2012)02-0041-04

机器人是当代科学技术的产物, 是高新技术的代表. 随着微计算机技术的发展, 机器人科学与技术得到了迅猛的发展. 在机器人的教学中, 由于机器人的价格昂贵, 不可能用很多实物机器人进行实践学习, 因此机器人仿真实验变得十分重要. 对机器人进行图形仿真, 可以模拟机器人的动态特性, 帮助研究人员了解机器人的工作空间的形态和极限, 更加直观地显示机器人的运动情况, 得到从数据曲线和数据本身难以分析的很多重要信息<sup>[1]</sup>.

对机器人的运动仿真, 很多学者都进行了研究. 文献 [2] 以一个四自由度机器人为例, 利用 MATLAB 软件绘制了其三维运动轨迹; 文献 [3] 对一种柱面机器人的参数进行了设计, 对该机器人的运动学、轨迹规划进行了仿真; 文献 [4] 以 Stanford 机械手为对象, 对机械手模型的手动控制和轨迹规划进行了仿真; 但以上方法建立的机器人模型只适

用于相应的机器人运动学研究. 对适于装配任务的关节装配机器人少有研究.

SCARA 机器人由于其关节较少, 运动灵活, 常被用于一些装配任务中. 在进行装配任务之前需要对其运动轨迹进行规划, 本文将利用 D-H 参数法对 SCARA 机器人进行运动学建模, 利用 MATLAB Robotics 工具箱, 验证 SCARA(四自由度) 机器人运动学参数的正确性. 然后, 对其运动轨迹进行规划.

## 1 SCARA 机器人运动学模型

本文建立的 SCARA 机器人有 3 个旋转关节(分别是 1、2 和 4 关节), 其轴线相互平行, 在平面内进行定位和定向. 另一个关节是移动关节(3 关节), 用于完成末端件在垂直于平面的运动. 机器人系统在 X、Y 方向上具有顺从性, 而在 Z 轴方向具有良好的刚度, 此特性特别适合于装配任务的工作<sup>[5]</sup>.

收稿日期: 2011-09-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60975069); 湖南省自然科学基金市州联合基金资助项目(10JJ9010); 湖南省科技计划项目资助项目(2009GK3102)

通信作者: 胡小平(1962-), 男, 湖南湘潭人, 博士, 教授, 主要从事测控技术、智能控制技术、数字图像处理的研究. E-mail: hxp210@163.com

根据 D-H 参数法<sup>[6]</sup>,建立如图 1 所示 SCARA 装配机器人的笛卡尔坐标系(单位为 cm),利用齐次矩阵和 D-H 参数法(如表 1)建立机器人运动学方程。

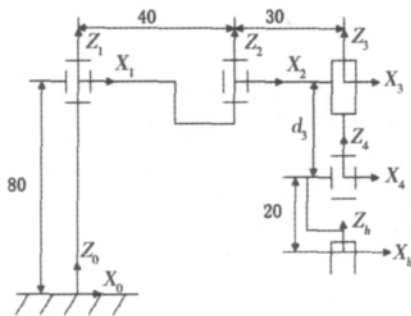


图 1 SCARA 机器人坐标系  
Fig. 1 Coordinate of SCARA robot

在机器人手部增加了一个机械手末端坐标系{h},它与第 4 个关节坐标系{4}之间没有相对运动,只有一个固定的平移变换,表中,  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$  分别为 SCARA 机器人各关节变量. 其它参数所代表意义如图 1 和表 1 标注所示。

表 1 机器人运动参数和关节变量

Tab. 1 Kinematics parameters and Joint variables of robot

连杆编号	夹角 $\theta_i$	扭角 $\alpha_i$	长度 $a_i$	距离 $d_i$	关节变量
1	$\theta_1(0)$	0	0	80	$\theta_1$
2	$\theta_2(0)$	0	40	0	$\theta_2$
3	0	0	30	0	$d_3$
4	$\theta_4(0)$	0	0	$d_3$	$\theta_4$
5	—	0	—	20	—

## 2 基于 Matlab 的轨迹规划与仿真

机器人单关节轨迹规划仿真是基于 MATLAB 绘图程序完成的. 可以根据规划时间  $t$  和规划的关节角、角速度、角加速度函数  $y_1, y_2$  和  $y_3$  用 MATLAB 中拆分窗口函数 subplot 和绘图函数 plot 来进行绘图<sup>[7]</sup>.

为了研究多关节机器人运动轨迹的平滑性和连续性,增加仿真效果的直观性,可以利用一种规划函数对机器人的多个关节运动轨迹同时进行仿真. 机器人多关节轨迹仿真将使用 MATLAB Robotic Toolbox<sup>[8]</sup>. MATLAB Robotic Toolbox 是由澳大利亚科学家 Peter Corke 开发的一套基于 MATLAB 的机器人工具箱. 该工具箱提供了机器人研究中很多重要的函数,包括机器人运动学、动力学、轨迹规划等<sup>[9-10]</sup>. 该工具箱可以对机器人进行图形仿真,并分析真实机器人控制时的实验数据结果,非常适宜机器人教学和研究。

对 SCARA 机器人用计算机进行运动轨迹仿

真,首先应该建立相应的机器人对象. 在 Robotic Toolbox 中,构建机器人主要在于构建各个关节,在构建关节时,会用到工具箱中的 LINK 函数,它的基本形式为

$$L = \text{LINK}([\alpha \ A \ \theta \ D \ \sigma], \text{CONVENTION}).$$

式中,  $\alpha$  代表扭转角;  $A$  代表连杆长度;  $\theta$  代表关节角度;  $D$  代表连杆距离; CONVENTION 可以取 'standard' 和 'modified', 其中 'standard' 代表标准的 D-H 参数, 'modified' 代表改进的 D-H 参数. 系统默认的是采用标准的 D-H 参数;如果采用改进的 D-H 参数法,按照上文中坐标系建立的  $\alpha_i, a_i, \theta_i$  和  $d_i$  的定义, LINK 函数中前 4 个元素依次为  $\alpha_i, a_i, \theta_i$  和  $d_i$ , 最后 1 个元素为 0(代表转动环节)或 1(代表移动环节), LINK 函数最后的参数为 'mod';如果采用标准的 D-H 参数法,它与改进的 D-H 参数的区别在于: LINK 函数中前 4 个元素依次为:  $\alpha_{i+1}, a_{i+1}, \theta_i$  和  $d_{i+1}$ . 对于  $N$  个关节的机器人需要建立  $N$  个 LINK 函数. 根据本文中 SCARA 机器人的参数,应该选取改进的 D-H 参数. 仿真步骤如下:

1) 机械手末端坐标系{h}与关节 4 坐标系{4}之间没有相对运动,只需将坐标系{4}沿轴  $z_4$  向下平移 20 cm 即得到坐标系{h}. 取  $d_3 = 20$  cm, 所以  $d_3 + 20$  cm = 40 cm 方向取向下. 根据表 1 的参数,建立 SCARA 机器人模型,将机器人命名为 'SCARA',构建机器人的程序如下:

```
>> L1 = Link([0 0 0 80 0], 'mod');
>> L2 = Link([0 40 0 0 0], 'mod');
>> L3 = Link([0 30 0 0 1], 'mod');
>> L4 = Link([0 0 0 -40 0], 'mod');
>> r = robot{L1 L2 L3 L4}, SCARA}.
```

2) 机器人的三维图: 假设初始状态机器人各关节角度为零. 通过如下语句,即可显示  $\theta_i = 0$  时, SCARA 机器人的三维图(图 2).

```
>> plot(r, [0 0 0 0]).
```

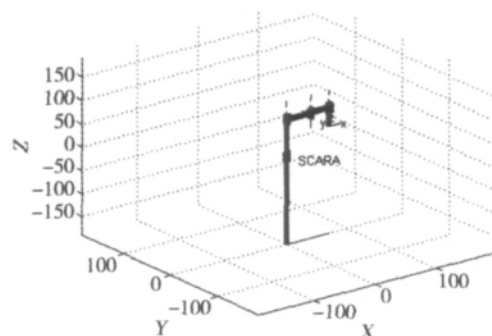


图 2 SCARA 机器人三维图

Fig. 2 Three - dimensional figure of SCARA robot

注意到机械手的末端附有一个小的右手坐标系,分别用红、绿、蓝色箭头代表机械手末端处的  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  轴方向. 并且在  $XY$  平面用黑色直线表示整个机械手的垂直投影.

3) 接下来,通过 `drivebot` 函数来驱动机器人运动,可以通过调节滑块的位置来使关节转动,就像实际操作机器人一样.

```
>> drivebot( SCARA ).
```

下面是通过调节滑块对应机器人的驱动效果图:

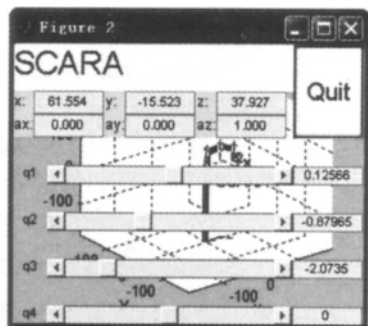


图3 SCARA 机器人关节驱动图  
Fig. 3 Joint drive figure of SCARA robot

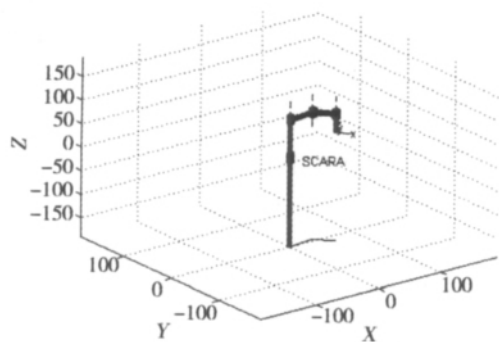


图4 SCARA 机器人驱动效果图  
Fig. 4 Drive rendering figure of SCARA robot

4) 本文将用工具箱中  $[q, q_d, q_{dd}] = \text{jtraj}(q^A, q^B, t)$  命令来对多关节机器人进行仿真. 仿真程序如下:

```
>> q^A = [ q1^A q2^A q3^A q4^A q5^A ... qn^A ];
>> q^B = [ q1^B q2^B q3^B q4^B q5^B ... qn^B ];
>> t = 0:0.01:T;
>> [q, qd, qdd] = jtraj( q^A, q^B, t ).
```

其中,  $q^A$  和  $q^B$  是机器人各关节的初始位置和终止位置的角度;  $q$  是一个矩阵, 每行代表一个时间采样点上各关节的转到角度,  $q_d$  和  $q_{dd}$  分别是对应的关节角速度和关节角加速度. `jtraj` 函数采用的是 7 次多项式插值, 默认初始和终止速度均为 0.

然后在用画图命令来依次完成, SCARA 机器人

关节角度轨迹部分仿真程序如下:

```
>> subplot( 3,2,1 );
>> plot( t, q( :, 1 ) );
>> xlabel( Time( s ) );
>> ylabel( joint1( rad ) );
>> subplot( 3,2,2 );
>> plot( t, q( :, 2 ) );
>> xlabel( Time( s ) );
>> ylabel( joint2( rad ) );
>> .....
```

实例仿真:

假设 SCARA 机器人由  $q^A = [0 \ 0 \ 0 \ 0]$  运动到  $q^B = [\pi/2 \ \pi/4 \ 0 \ -\pi/4]$ , 用 MATLAB Robotics 工具箱对其各个关节的运动轨迹进行仿真

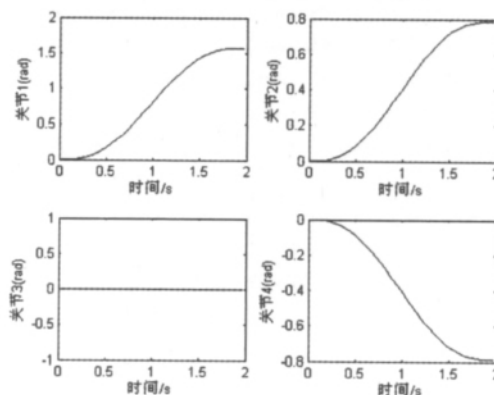


图5 各关节角度的轨迹规划曲线  
Fig. 5 The joint angle's trajectory planning curve

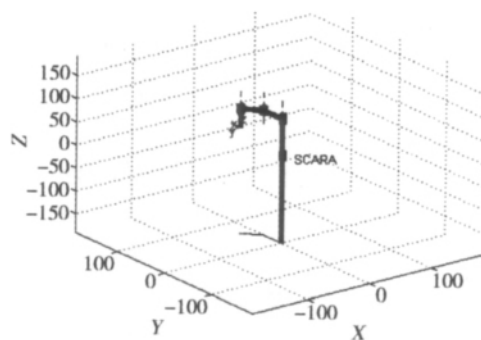


图6 SCARA 机器人在  $q_B$  点的三维图  
Fig. 6 Three - dimensional figure of SCARA robot at  $q_B$

### 3 结论

本文利用 D-H 参数法对 SCARA 机器人进行了运动学建模. 基于 MATLAB Robotic Toolbox 工具箱, 编制了简单的程序语句, 验证了 SCARA 机器人参数的合理性; 利用关节驱动窗口, 直观地展示了机器人关节角度驱动效果图; 对机器人运动轨迹进行

了仿真. 利用 Robotic Toolbox 工具箱可以对机器人多个关节轨迹进行规划,快速且准确. 一方面,可以看出,MATLAB 软件为机器人的研究提供了强大的分析和仿真能力. 更为重要的是,它可以为机器人运动控制提供数据的保障.

## 参考文献:

- [1] Tan G Z, Wang Y C. Theoretical and experimental research on time – optimal trajectory planning and control of industrial robots [J]. Control Theory & Applications, 2003, 20( 2) : 185 – 192.
- [2] 冯飞, 张洛平, 张波. 四自由度机器人 Matlab 仿真实例 [J]. 河南科技大学学报( 自然科学版), 2008, 29( 3) : 24 – 26.  
Feng F, Zhang L P, Zhang B. Simulation of 4R robot based on Matlab [J]. Journal of Henan University of Science and Technology ( Natural Science), 2008, 29( 3) : 24 – 26.
- [3] 罗家佳, 胡国清. 基于 Matlab 的机器人运动仿真研究 [J]. 厦门大学学报( 自然科学版), 2005, 44( 5) , 640 – 644.  
Luo J J, Hu G Q. Kinematical simulation of robot based on Matlab [J]. Xiamen University ( Natural Science), 2005, 44 ( 5 ), 640 – 644.
- [4] 王智兴, 樊文欣, 张保成, 等. 基于 Matlab 的工业机器人运动学分析与仿真 [J]. 机电工程, 2012, 29( 1) : 34 – 37.  
Wang Z X, Fan W X, Zhang B C, et al. Kinematical analysis and simulation of industry robot based on Matlab [J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2012, 29( 1) : 34 – 37.
- [5] Furuya N, Soma K, Chin E, Makino H. Research and development of selective compliance assembly robot arm [J]. II. Hardware and software of SCARA controller, J. Japan Society of Precision Engineering/Seimitsu Kogaku Kaishi, 1983, 49( 7) : 835 – 841.
- [6] 孙涛, 张征, 胡俊. 机器人逆运动学算法及 Admas 仿真 [J]. 机床与液压, 2008, 36( 3) : 23 – 26.  
Sun T, Zhang Z, Hu J. Arithmetic of inverse kinematics of robot simulation based on Admas [J]. Machine Tool & Hydraulics, 2008, 36( 3) : 23 – 26.
- [7] 王永龙, 张兆忠, 张桂红. Matlab 语言基础与应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.  
Wang Y L, Zhang Z Z, Zhang G H. Matlab language foundation and application [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010.
- [8] Corke P. A Robotics Toolbox for Matlab [J]. IEEE Robotics and Automation Magazine, 1996, 3( 1) : 24 – 32.
- [9] 谢斌, 蔡自兴. 基于 Matlab Robotics Toolbox 的机器人学仿真实验教学 [J]. 计算机教育, 2010, 19( 10) : 140 – 143.  
Xie B, Cai Z X. Simulation and education of robot based on MATLAB Robotics Toolbox [J]. Computer Education, 2010, 19 ( 10) : 140 – 143.
- [10] 阮启刚, 黄磊. 6R 机器人轨迹规划与仿真 [J]. 电气技术与自动化, 2010( 6) : 168 – 170.  
Ruan Q G, Huang L. Trajectory planning and simulation of 6R robot [J]. Electrical Technology & Automation, 2010 ( 6) : 168 – 170.

# Trajectory planning and simulation of SCARA robot based on MATLAB – Robotics toolbox

Zuo Fu – yong, Hu Xiao – ping, Xie Ke, Zhu Qiu – ling

( Hunan Provincial Key Laboratory of Health Maintenance for Mechanical Equipment, Hunan University of  
Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

**Abstract:** For the purpose of making trajectory plan research on SCARA robot, in the MATLAB environment, the kinematic parameters of the robot were designed. Kinematic model was established by Robotics toolbox compiled the simple programming statements, the difference was discussed between the standard D – H parameters and improved D – H parameters, and the trajectory planning was simulated, the joints trajectory curve were smooth and continuous. Simulation shows the designed parameters are correct, thus achieved the goal. The tool can be used to the robots graphic simulation and analysis of the real robot control result, it has higher economic and practical value for the research and development of robot.

**Key words:** robot; trajectory planning; MATLAB; simulation