

# SCARA 机器人的运动控制分析与计算

刘慕双 杨荣章 赵瑶瑶

(承德石油高等专科学校 机械工程系 河北 承德 067000)

**摘要:** 介绍了 SCARA 机器人的结构及运动控制方法, 采用数学分析方法得到了工业控制计算机向伺服电机驱动器发出脉冲的 SCARA 机器人的控制方式, 分析了伺服电机驱动 SCARA 机器人的运动规律, 并且得到了 SCARA 机器人手腕参考点的位置坐标与工业控制计算机发出脉冲数的数学关系式。为设计开发 SCARA 机器人提供了运动控制逆解及运动范围。

**关键词:** SCARA; 运动; 控制; 分析

**中图分类号:** TP242 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-9446(2018)01-0018-03

## Motion Control Analysis and Calculation of SCARA Robot

LIU Mu-shuang, YANG Rong-zhang, ZHAO Yao-yao

(Department of Mechanical Engineering, Chengde Petroleum College, Chengde 067000, Hebei, China)

**Abstract:** The paper introduces the structure of SCARA robot and analyses the control mode that IPC sends pulsing signals to servo drives and the motion law that servo motor drives SCARA robot. It also obtains the mathematical relationship between the position coordinates of Selective Compliance Assembly Robot Arm's reference points and the number of pulse sent by IPC.

**Key words:** SCARA; motion; control; analysis

近年来,世界工业生产进入到了智能制造时代。德国提出了工业 4.0 计划,我国为了赶上世界科技发展的步伐,制定了符合我国国情的《中国制造 2025》行动纲领,计划到 2025 年我国制造业迈入制造业强国的行列。智能制造要求在工业生产中广泛使用机器人。目前我国国家在工业生产中使用机器人的比例与世界发达国家相比还比较低,主要是因为机器人控制原理复杂,造价成本较高。能否找到几种应用范围较广,控制原理易于实现,造价成本低廉的机器人方案,是解决机器人在我国工业生产中使用比例低的关键所在。工业生产中经常要在生产线上搬运工件,采用 3~4 个自由度结构简单控制方便的 SCARA 机器人是解决这方面问题的较好选择。

## 1 SCARA 机器人的结构原理及功能分析

SCARA(Selective Compliance Assembly Robot Arm,中文译名是选择顺应性装配机器手臂)是一种圆柱坐标型的结构简单、可以广泛应用在工业生产现场的机器人。如图 1<sup>[1]</sup>所示,SCARA 机器人有 3 个旋转关节,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,用于完成末端件在垂直于水平面的运动。

如图 2 所示,手腕参考点的位置坐标  $(x, y, z)$  是由两旋转关节的角位移  $\phi_1$  和  $\phi_2$  及移动关节的位移  $z$  决定的<sup>[2]</sup>。根据几何关系可以建立手腕参考点  $O_3$  的坐标方程:

根据图 2 表达的 SCARA 机器人投影图形,可得抓取短点  $O_3$  的坐标式<sup>[3]</sup>:

收稿日期: 2017-05-26

作者简介: 刘慕双(1961-) 男,河北乐亭人,教授,硕士,主要从事机械制造专业的教学及技术开发工作, E-mail: lmshuang@qq.com。

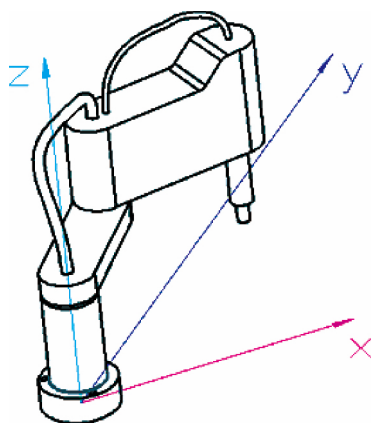
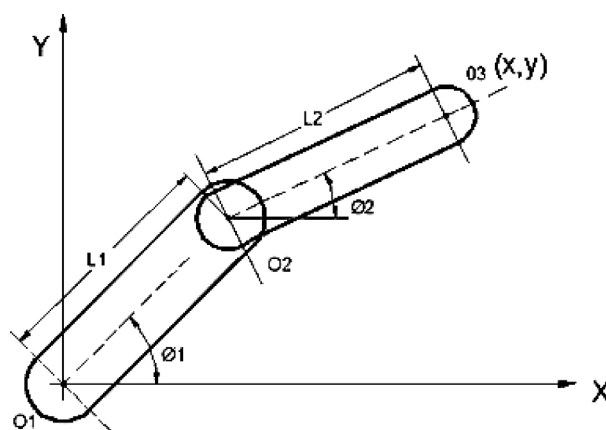


图1 SCARA工业机器人结构简图

图2 SCARA工业机器人在 $O_1x,y$ 平面内的投影

$$\begin{cases} x = L_1 \cos \phi_1 + L_2 \cos \phi_2 \\ y = L_1 \sin \phi_1 + L_2 \sin \phi_2 \\ z = t \times \phi_3 / 2\pi \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x = L_1 \cos \phi_1 + L_2 \cos \phi_2 \\ y = L_1 \sin \phi_1 + L_2 \sin \phi_2 \end{cases} \quad (2)$$

$$z = t \times \phi_3 / 2\pi \quad (3)$$

式中:  $L_1$ 、 $L_2$  分别为两个摆臂的长度;  $\phi_1$ 、 $\phi_2$  分别为两个摆臂对静止坐标系的转角;  $\phi_3$  为纵向移动丝杠对静止坐标系的转角;  $t$  为纵向移动丝杠的导程。

上述 (1)、(2) 方程可写成:

$$\begin{cases} x - L_1 \cos \phi_1 = L_2 \cos \phi_2 \\ y - L_1 \sin \phi_1 = L_2 \sin \phi_2 \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} x - L_1 \cos \phi_1 = L_2 \cos \phi_2 \\ y - L_1 \sin \phi_1 = L_2 \sin \phi_2 \end{cases} \quad (5)$$

对 (4)、(5) 式两边分别平方后 相加得:  $(x - L_1 \cos \phi_1)^2 + (y - L_1 \sin \phi_1)^2 = L_2^2$

对上式展开, 并移项得:  $x^2 + y^2 - 2xL_1 \cos \phi_1 + L_1^2 - 2yL_1 \sin \phi_1 = L_2^2$

整理得:  $2xL_1 \cos \phi_1 + 2yL_1 \sin \phi_1 = (L_1^2 + x^2 + y^2) - L_2^2$  (6)

设:

$$\sin \phi_{10} = \frac{2xL_1}{\sqrt{(2xL_1)^2 + (2yL_1)^2}} \quad (7)$$

$$\cos \phi_{10} = \frac{2yL_1}{\sqrt{(2xL_1)^2 + (2yL_1)^2}} \quad (8)$$

由 (6)、(7)、(8) 式得:

$$\sin(\phi_{10} + \phi_1) = \frac{L_1 + x^2 + y^2 - L_2^2}{\sqrt{(2xL_1)^2 + (2yL_1)^2}}$$

即

$$\phi_1 = \arcsin \frac{L_1 + x^2 + y^2 - L_2^2}{\sqrt{(2xL_1)^2 + (2yL_1)^2}} - \arcsin \frac{2xL_1}{\sqrt{(2xL_1)^2 + (2yL_1)^2}} \quad (9)$$

由 (1)、(2) 方程式可写成:

$$\begin{cases} x - L_2 \cos \phi_2 = L_1 \cos \phi_1 \\ y - L_2 \sin \phi_2 = L_1 \sin \phi_1 \end{cases}$$

采用与上面相同处理方法可得:

$$\phi_2 = \arcsin \frac{L_2^2 + x^2 + y^2 - L_1^2}{\sqrt{(2xL_2)^2 + (2yL_2)^2}} - \arcsin \frac{2xL_2}{\sqrt{(2xL_2)^2 + (2yL_2)^2}} \quad (10)$$

考虑到减速器的减速比及伺服电机的脉冲转角等因素, 发给伺服电机的脉冲数公式可表达为:

$$n1 = \phi_1 * i_1 / \Delta_1 \quad (11)$$

$$n2 = (\phi_2 - \phi_1) * i_2 / \Delta_2 \quad (12)$$

$$n3 = \phi_3 * i_3 / \Delta_3 \quad (13)$$

分别将(9)、(10)、(3)式代入(11)、(12)、(13)式得:

$$\begin{cases} n1 = \left( \arcsin \frac{L_1 + x^2 + y^2 - L_2^2}{\sqrt{(2xL_1)^2 + (2yL_1)^2}} - \arcsin \frac{2xL_1}{\sqrt{(2xL_1)^2 + (2yL_1)^2}} \right) \times i_1 / \Delta_1 \\ n2 = \left( \arcsin \frac{L_2^2 + x^2 + y^2 - L_1^2}{\sqrt{(2xL_2)^2 + (2yL_2)^2}} - \arcsin \frac{2xL_2}{\sqrt{(2xL_2)^2 + (2yL_2)^2}} + \arcsin \frac{2xL_1}{\sqrt{(2xL_1)^2 + (2yL_1)^2}} \right. \\ \left. - \arcsin \frac{L_1 + x^2 + y^2 - L_2^2}{\sqrt{(2xL_1)^2 + (2yL_1)^2}} \right) \times i_2 / \Delta_2 \\ n3 = \frac{2\pi zi_3}{\Delta_3 t} \end{cases}$$

式中:  $i_1$ 、 $i_2$ 、 $i_3$  分别为三个伺服电机的减速比;  $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$ 、 $\Delta_3$  分别为三个伺服电机的单位脉冲转角;  $n1$ 、 $n2$ 、 $n3$  分别为控制计算机发出的脉冲数。注意:  $n1$ 、 $n2$  为正时, 伺服电机逆时针转动,  $n1$ 、 $n2$  为负时, 伺服电机顺时针转动。

这类机器人的结构轻便、响应快, SCARA 机器人运动速度可达 10 m/s, 比一般关节式机器人快数倍。它最适用于平面定位、垂直方向进行装配的作业。该机器人可具有四个轴和四个运动自由度(包括沿 X、Y、Z 方向的平移和绕 Z 轴的旋转自由度)。

SCARA 系统在 x、y 方向上具有很强的灵活性, 可以很方便地将集成电路芯片和其他器件针插入到 PCB 板中, 故 SCARA 系统首先大量用于装配印刷电路板和电子零部件。SCARA 机器人系统在 Z 轴方向具有良好的刚度, 特别适合于工件在机床上加工时的定位安装及机器的零部件装配成整机方面的工作。所以在工业自动化生产中具有十分广泛的用途。

## 2 结论

1) SCARA 机器人可以搬运工件, 实现工件从三维空间内的一个点运送到另外一个点的操作, 同时还可以实现工件在一个方向上的转动。

2) SCARA 机器人的工作范围在水平面内的投影是一个扇形区域, 区域的大小取决于两个臂的长度参数, 在铅锤方向的工作范围取直线导轨的运动范围, 如图 3<sup>[4]</sup> 所示。

3) SCARA 机器人能够广泛应用于塑料工业、汽车工业、电子产品工业、药品工业和食品工业<sup>[4]</sup> 等领域。它的主要作用是搬取零件和装配零件的工作。SCARA 机器人的负重净载重量在 0.1 kg 至 200 kg 之间。

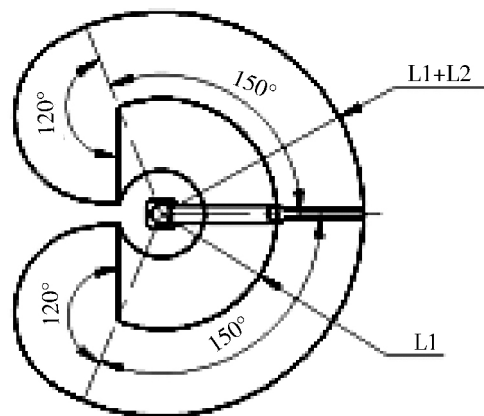


图3 SCARA工业机器人工作空间图

### 参考文献:

- [1] 左国栋, 赵志勇, 王冬青. SCARA 机器人运动学分析及 MATLAB 建模仿真[D]. 青岛: 青岛大学, 2016.
- [2] 熊青春. 四自由度教学机器人的研制[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2005.
- [3] 刘江南. 四自由度机械手轨迹规划算法与应用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学工程, 2015.
- [4] 卢军, 郑国穗, 马金锋, 等. SCARA 机器人结构优化设计与运动分析[J]. 陕西科技大学学报, 2014(1): 137-141.