

DOI: 10.3969/j.issn.1009-9492.2019.05.018

# 一种新型智能仓储机器人原理样机研制

姜爱民, 郭亮, 谭向全

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所 空间机器人中心, 吉林长春 130000)

**摘要:** 传统仓储机器人主要针对大型物料作业且自由度较少而不够灵活, 为解决上述问题, 设计了一种新型的智能仓储机器人, 其具有更多的自由度且针对小型元器件。分析了该机器人的运动学特性, 建立其 D-H 连杆坐标系, 推导机器人运动学的正逆解, 对末端轨迹函数进行规划, 基于 MATLAB 软件编程对运动学及轨迹函数算法进行了验证。样机实验验证表明该机器人达到了预期设计效果。

**关键词:** SCARA 机器人; 运动学分析; 仓储机器人

**中图分类号:** TP242

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-9492(2019)05-0062-04

## Development of Prototype of a New Intelligent Warehouse Robot

JIANG Ai-min, GUO Liang, TAN Xiang-quan

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130000, China)

**Abstract:** Traditional warehouse robots are mainly for large material with less DOF and flexibility. In order to solve the above problems, a new intelligent warehouse robot is development, which aims at small material with multi-dof. In this paper, the joint coordinate system of the robot is established by using the D-H parameter method. the kinematics characteristics of the robot are analyzed, including the inverse kinematics. A straight line was planned for SCARA robot's end in the cartesian space. The straight line path trajectory data were put into MATLAB software for trajectory simulation. the prototype experiment showed that the robot has achieved the expected design effect.

**Key words:** SCARA robot; kinematics analysis; warehouse robot

## 0 引言

伴随科学技术的不断的发展, 立体仓库技术向着自动化与智能化方向发展, 其以巷道堆垛机为主, 结合入库出库等周边设备进行作业。从国内发展情况来看, 目前国内的自动化立体仓库技术已经基本成熟, 并进入大量应用阶段。从国外来看, 日本的自动化立体仓库发展最快, 同时也应用最广泛。

综上所述, 随着现代物流快速发展, 而传统的巷道堆垛机主要针对大型原材料的仓储需求, 在充分分析国内智能仓储机器人的基础上, 结合工业领域的小型元器件的仓储的需求, 本文介绍了一种新型的智能仓储机器人, 其由两自由度滑台搭载一台 SCARA 机械手并配合末端执行器实现了微小型元器件仓储的核心功能。

## 1 机器人结构

### 1.1 机构组成

新型智能仓储机器人名为 Will, 它由两自由度滑台、SCARA 机械手和末端执行器与控制系统组成。如图 1 所

示, 其中两自由度滑台为 X 和 Z 方向, 其中 X 方向的滑台实现了机械手的沿巷道方向的运动, 配合 Z 方向的自由度

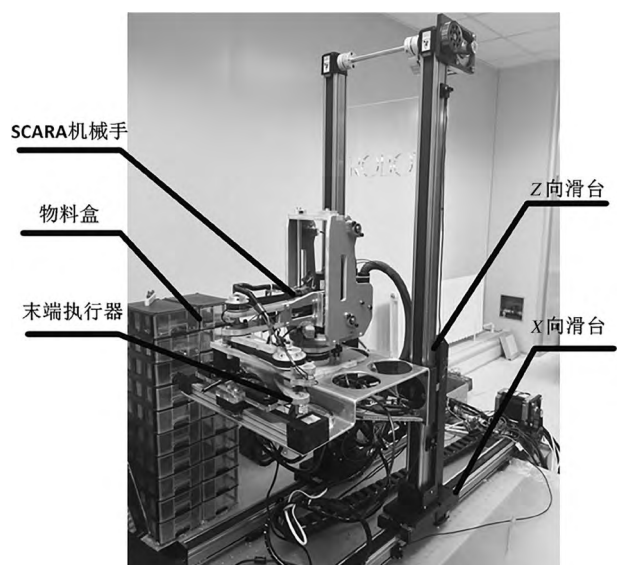


图1 机器人整体结构

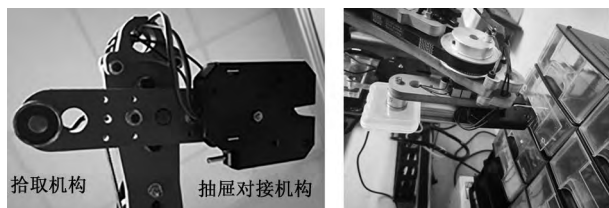
收稿日期: 2019-02-18

使机械手可以到达巷道内的任意位置。SCARA 机械手由三个水平布置的关节与一个垂直运动的关节构成。机械手与末端执行器配合实现抽合抽屉、取放元器件的功能。

Will 在结构上与传统巷道机器人相比具有更多的自由度、更加灵活针对小型元器件的仓储需求。整个机器人的工作流程如下：当有元器件入库时，机器人运动到指定位置拾取待入库元器件，然后通过库房管理系统自动分配库位，机器人运动到指定位置，机械手抽开抽屉放入待入库元器件，最后关抽屉。当接到指定元器件出库指令，库房管理系统查找库位发送指令至机器人，机器人运动到指定位置打开抽屉拾取待出库元器件，然后机器人将元器件运送到指定出库位置。

### 1.2 末端执行器

如图 2 (a) 所示，Will 机器人的末端执行器由拾取机构和抽屉对接机构两部分组成。拾取机构由电磁铁构成，封装好的元器件盒内含导磁材料，通过控制电磁铁实现元器件的取放。抽屉对接机构由电控锁组成，其中锁体与机器人手连接，锁扣安装在抽屉上，通过控制电控锁实现机械手与抽屉的连接与释放。如图 2 (b) 所示，机器手的末端作用器处在作业状态，拾取机构工作携带元器件盒，抽屉对接机构工作使抽屉与机械手连接。



(a) 末端执行器结构

(b) 机械手末端作用器

图 2 机械手末端组成

## 2 SCARA 机械手运动学分析

SCARA 机械手完成开关抽屉动作，要求其末端运动轨迹为直线。目前抽屉长度为 180 mm，对 SCARA 机械手进行运动学分析，进而对末端 180 mm 直线轨迹规划。

### 2.1 机器人的 D-H 坐标系

此 SCARA 不同于市面常见的 SCARA 机器人，其具备 4 个自由度，但升降自由度在基座位置，建立机器人 D-H 连杆坐标系，其中  $L_1$  长度可变化范围 (50~200 mm)、 $L_2=200$  mm、 $L_3=150$  mm、 $L_4=40$  mm。

表 1 D-H 参数

| $i$ | $\alpha_{i-1}$ | $a_{i-1}$ | $d_i$  | $\theta_i$ |
|-----|----------------|-----------|--------|------------|
| 1   | 0              | 0         | $L_1$  | $\theta_1$ |
| 2   | 0              | $L_2$     | 0      | $\theta_2$ |
| 3   | 0              | $L_3$     | 0      | $\theta_3$ |
| 4   | 0              | $L_4$     | $-L_4$ | 0          |

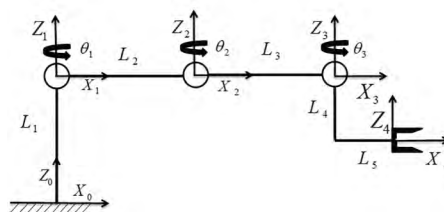


图 3 D-H 坐标系及关节数表

### 2.2 机器人运动学正解

为控制机器人实现指定位姿，对机器人进行运动学正向解算并建立机器人的正向运动学方程。根据已知的关节变量  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$  其中参考坐标系为 SCARA 机械手的安装底面，从参考坐标系到末端执行器坐标系的变换为：

$${}^0_4T = {}^0_1T \times {}^1_2T \times {}^2_3T \times {}^3_4T$$

$${}^0_4T = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) & -\sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) & 0 & P_x \\ \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) & \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) & 0 & P_y \\ 0 & 0 & 1 & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中：

$$P_x = L_5 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + L_3 \cdot \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_2 \cdot \cos \theta_1$$

$$P_y = L_5 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + L_3 \cdot \sin(\theta_1 + \theta_2) + L_2 \cdot \sin \theta_1$$

$$P_z = L_1 - L_4$$

### 2.3 机器人运动学逆解

机器人在拉抽屉的过程为已知末端工作路径对各关节角度的逆向解算，目前机械臂运动学逆解的快速计算方法主要为数据值求解和封闭解。由于封闭解比数值解计算速度更快、效率更高，这里应用封闭解的几何法求机器人的逆运动学。运动学逆解中 SCARA 机器人看做平面机械臂即 Z 轴方向不运动，如图 4 所示，运动学的逆解 3 个连杆的长度分别为  $l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$ ，假设机械臂末端姿态坐标为  $(x, y, \varphi)$ 。

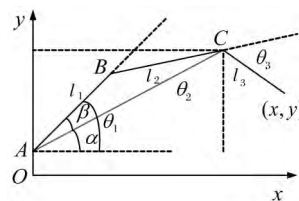


图 4 D-H 坐标系及关节数表

由余弦定理可知  $|AC|^2 = l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos(\pi - \theta_2)$ ；由勾股定理可知  $|AC|^2 = (x - l_3 \cos \varphi)^2 + (y - l_3 \sin \varphi)^2$ ；推导出机器人的运动学逆解几何法计算公式：

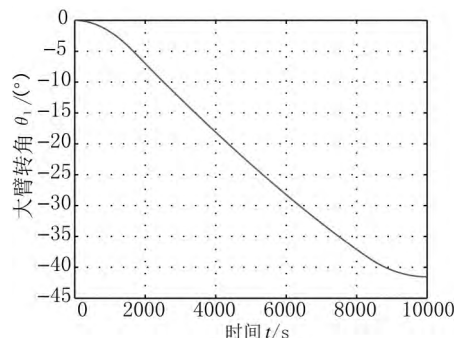
$$\begin{cases} \theta_1 = \alpha - \beta \\ \theta_3 = \varphi - \theta_1 - \theta_2 \\ \cos \theta_2 = \frac{(x - l_3 \cos \varphi)^2 + (y - l_3 \sin \varphi)^2 - l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2} \\ \cos \beta = \frac{(x - l_3 \cos \varphi)^2 + (x - l_3 \sin \varphi)^2 + l_1^2 - l_2^2}{2l_1 \sqrt{(x - l_3 \cos \varphi)^2 + (x - l_3 \sin \varphi)^2}} \\ \cos \alpha = \frac{x - l_3 \cos \varphi}{\sqrt{(x - l_3 \cos \varphi)^2 + (x - l_3 \sin \varphi)^2}} \end{cases} \quad (2)$$

## 2.4 机器人末端轨迹规划与Matlab仿真

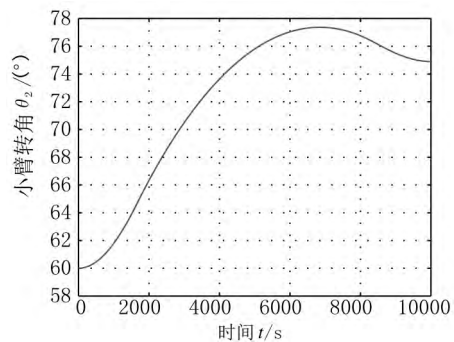
SCARA 机器人的末端走直线采用笛卡尔空间法, 并对末端运动函数进行规划, 末端运动轨迹分为加速、匀速与减速3个阶段。末端位姿为  $(x, y, \varphi)$ , 设整体运动时间为  $T$ , 末端  $X$  方向位移  $S_x$ , 末端  $Y$  方向位移  $S_y$ 。末端  $X$  方向轨迹的运动函数如下, 同理可求  $Y$  方向的轨迹函数:

$$S_x(t) = \begin{cases} \frac{S_x}{(T-t_1) \cdot t_1} \cdot t^2 + x & x \leq t_1 \\ \frac{S_x}{(T-t_1)} \cdot t - \frac{S_x \cdot t_1}{2(T-t_1)} + x & t_1 \leq x \leq T-t_1 \\ \frac{S_x}{(T-t_1)} \cdot t - \frac{S_x \cdot t_1}{2(T-t_1)} + x & T-t_1 \leq x \leq T \end{cases} \quad (3)$$

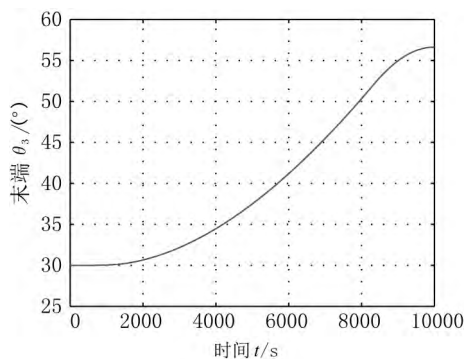
应用 MATLAB 编程, 设置  $T=10$ , 步长  $t=0.001$ , 对  $S_x(t)$  与  $S_y(t)$  取 1 000 个离散点, 同时对末端角度  $\varphi$  进行 1 000 等分。机器人在拉抽屉的初始角度  $\theta_1=0^\circ$ 、 $\theta_2=60^\circ$ 、 $\theta_3=30^\circ$ ,  $S_x=0$ ,  $S_y=180$  应用 2.3 节的运动学逆解将每个点  $(S_x(nt), S_y(nt), n\varphi/1\ 000)$  带入求得对应的  $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $\theta_3$ , 应用 MATLAB 的 plot 函数绘制三关节转角时间曲线如图 5 所示。



(a) 关节1角度曲线



(b) 关节2角度曲线

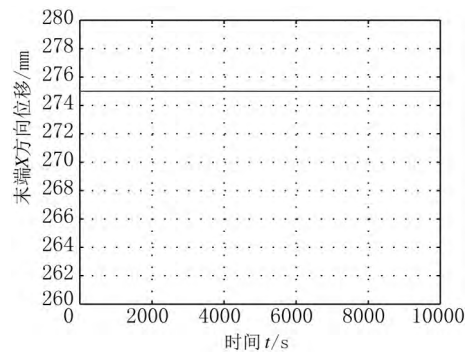


(c) 关节3角度曲线

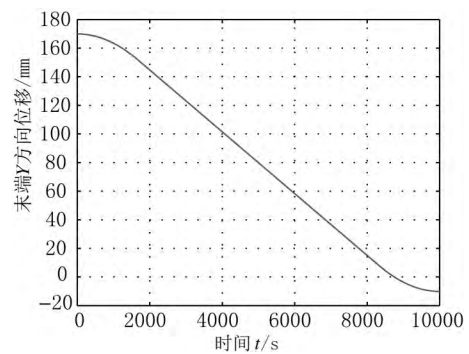
图5 D-H各关节角位移曲线

下面将得到的 1 000 个数据点  $[\theta_1, \theta_2, \theta_3]$  组成的数组代入 2.2 节的运动学正解公式进行求解, 得到末端  $[x, y, \varphi]$  的轨迹, 应用 MATLAB 的 plot 函数画图得到末端的运动轨迹。

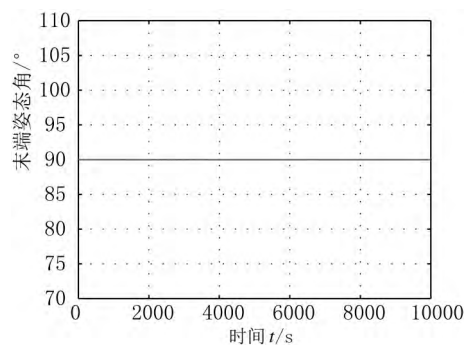
如图 6 (a) 所示,  $x$  方向无位移。如图 6 (b) 所示,  $y$  方向两端为平滑曲线中间部分为直线, 起始位置为 170 mm 终止位置为 -10,  $y$  方向位移为 180 mm。如图 6 (c) 所示, 末端的姿态转角  $\varphi$  无变化。通过末端轨迹验证了上一节的运动学算法的正确性。



(a) 末端X向位移曲线



(b) 末端Y向位移曲线



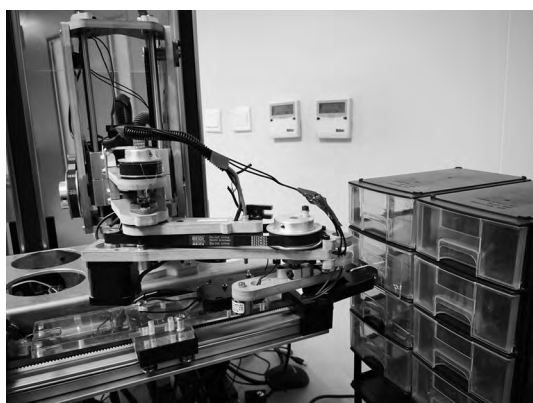
(c) 末端姿态角曲线

图6 末端姿态曲线

## 3 实验分析

为验证 SCARA 机器人末端轨迹规划的可行性, Will 智能仓储机器人的控制系统下位机主控为 STM32 单片机, 选用 TB6560 驱动器驱动 SCARA 机器人。采用上节末端路径规划算法, 实现 SCARA 机械臂末端轨迹的控制, 机械手拉抽屉过程如图 7 所示。

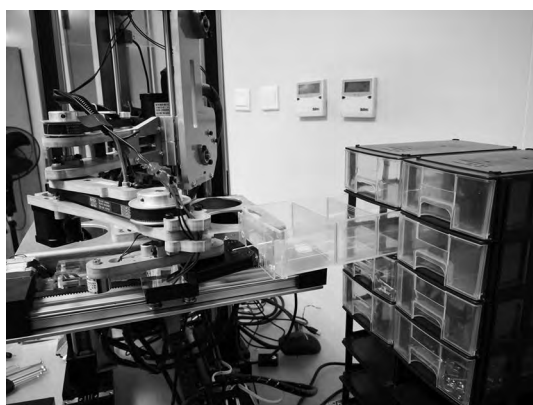




(a) 末端作用器与抽屉连接



(b) 末端作用器拉抽屉1格子



(c) 末端作用器拉抽屉2格子

图7 机器人拉抽屉过程图

拉抽屉实验首先 $X$ 、 $Z$ 两自由度滑台运动使机械臂运动到指定取料盒，然后机械臂动作使末端的抽屉对接机构和物料盒连接。然后机械臂通过上一节的控制算法实现了末端180 mm的直线运动，通过图7可观察到物料盒的三个格子依次被抽出来，通过实物验证了算法的可行性。

#### 4 结论

传统的仓储机器人自由度少且只针对大型物料的分拣，为克服传统仓储机器人的这些不足，本文设计了一种

新型的智能仓储机器人，建立了SCARA机器人的运动学模型，同时进行机械手末端轨迹规划。将轨迹规划算法应用MATLAB编程进行了仿真，通过获得的关节角位移曲线和末端位移曲线验证了其运动学公式的正确性和轨迹规划的效果，最后通过实物验证了算法的可行性。

#### 参考文献：

- [1] 孙羽, 张汝波. 笛卡儿空间机器人轨迹规划方法[J]. 北华大学学报, 2002, 3 (3): 269-271.
- [2] 高东强, 杨磊, 韩昆, 等. SCARA机械手的轨迹规划及运动学分析[J]. 机械设计与制造, 2015 (1): 269-272.
- [3] Schmidt G, Xu X. A comparison of model-based path control algorithms for direct-drive SCARA robots [J]. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 1992, 5 (3): 241-252.
- [4] CRAIG John J. 机器人学导论 [M]. 贡超, 译. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [5] Crnekovi M. Trajectory planning for scara robot in C-space [C]. // 7th International DAAAM Symposium. Hrvatska znanstvena bibliografija i MZOS-Svibor, 1996.
- [6] Ma G Q, Yu Z L, Cao G H, et al. The Kinematic Analysis and Trajectory Planning Study of High-Speed SCARA Robot Handling Operation [J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 687-691: 294-299.
- [7] 王健强, 程汀. SCARA机器人结构设计及轨迹规划算法[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2008, 31 (7): 1026-1028.
- [8] 姜爱民, 战强, 张印. 一种新型磁吸附爬壁机器人的研制[J]. 机械制造与自动化, 2018 (04): 146-161.

第一作者简介：姜爱民，男，1990年生，黑龙江省齐齐哈尔市人，硕士研究生。研究领域：特种机器人结构设计及控制。

(编辑:阮毅)

