

文章编号 1004-924X(2000)01-0051-04

用于机器人螺钉柔性装配的夹持器

李绣峰, 刘桂雄, 邝泳聪

(华南理工大学机电工程系, 广东 广州 510640)

摘要: 从机器人螺钉柔性装配位姿调整策略的需要出发, 简要介绍了机器人末端适从方式, 提出了基于刚度矩阵的适从表达方案, 设计并制作出具有良好适从特性的螺钉柔顺夹持器, 实验结果表明, 该夹持器所具有的较宽位姿适从范围为机器人螺钉柔性装配的实施打下了良好基础。

关键词: 机器人; 螺钉柔性装配; 夹持器; 被动适从

中图分类号: TP242 文献标识码: A

1 引言

现代生产模式应具有小批量、多品种、高质量、低成本的特点, 这对制造业中占很大比例的装配作业^[1]提出了严峻的挑战。利用机器人的定位、识别、检测、补偿、避碰等功能进行柔性装配被认为是一种解决该挑战的有效途径, 发展以装配机器人为主体的柔性自动装配作业系统目前已成为世界各发达国家的一种趋势。螺钉装配在装配作业中占有一定份额, 是十二种常见装配任务之一^[2], 实现螺钉柔性自动装配是柔性自动装配系统的难点。机器人螺钉柔性装配技术的研究, 国内外均处于探索阶段^[3]。

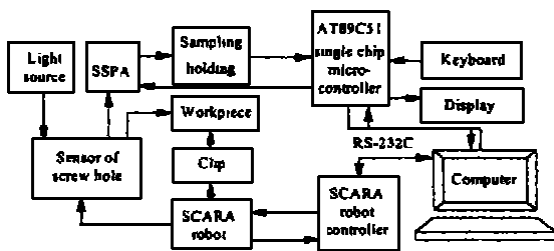


Fig 1 Robot screw flexible assembly initial involving system

实现螺钉柔性装配的关键之一是解决好螺钉与螺纹孔的初始旋合问题^[3]。图1为作者所研制的SCARA机器人螺钉柔性装配初始旋合系统。该系统由六部分组成: 信号探测部分(包括He-Ne激光光源、螺纹孔传感头和SSPA器件等)^[4]; 信

号采集及处理部分(包括采样保持电路和单片机系统)^[5]; 夹持器装置; 微型计算机; SONY SRX-4CH SCARA机器人和工件。单片机系统发出信号采集螺纹孔传感头的信号, 经过RS-232C被送到微机中进行信号处理, 产生SCARA控制器能识别的指令或数据, 通过RS-232C串行通信控制SCARA机器人进行位姿调整和最终操纵夹持器进行螺钉装配的初始旋合。其中夹持器装置为实现主动外部传感检测与柔顺夹持装置被动适从相结合的控制策略的关键。

2 机器人末端适从方式

许多研究表明^[6,7], 作用在装配部件端部的力或力矩对阻塞和卡死现象具有重要影响, 机器人末端适从可以有效地适应末端执行器运动时所需要的力和力矩, 进而顺利完成装配任务。机械手适从有时类比为弹簧系统, 但也用于描述作用在机械手上力、力矩与机械手运动之间的函数关系。若以当量阻尼来表示, 表示为:

$$V - V_0 = A \cdot F$$

式中: V 为6维结构空间速度矢量;

V_0 为标定速度矢量;

A 为 6×6 调节矩阵(阻尼矩阵的逆矩阵);

F 为维力、力矩矢量。

根据Thomson^[8]的适从矩阵的方法, 机械手末端适从可由刚度矩阵 $uK \in R^{6 \times 6}$ 或适从(柔性)矩阵 $S \in R^{6 \times 6}$ 表示。

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ -M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & k_{45} & k_{46} \\ k_{51} & k_{52} & k_{53} & k_{54} & k_{55} & k_{56} \\ k_{61} & k_{62} & k_{63} & k_{64} & k_{65} & k_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \\ \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{bmatrix} \quad \text{或} \quad \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \\ \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & S_{24} & S_{25} & S_{26} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & S_{34} & S_{35} & S_{36} \\ S_{41} & S_{42} & S_{43} & S_{44} & S_{45} & S_{46} \\ S_{51} & S_{52} & S_{53} & S_{54} & S_{55} & S_{56} \\ S_{61} & S_{62} & S_{63} & S_{64} & S_{65} & S_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \\ M_x \\ M_y \\ -M_z \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: $F = (F_x, F_y, F_z)^T$ 为作用在机器人末端的直角坐标力;

$M = (M_x, M_y, M_z)^T$ 为作用在机器人末端的直角坐标力矩;

$d = (d_x, d_y, d_z)^T$ 为机器人末端的移动位移;

$\theta = (\theta_x, \theta_y, \theta_z)^T$ 为机器人末端的角位移;

${}^u E \quad R^{6 \times 6}$ 为刚度矩阵, ${}^u S \quad R^{6 \times 6}$ 为适从矩阵, U 为工作参考坐标系。

虽然适从和刚度矩阵是在工作参考系中定义的,但它们也可以根据实际需要在其他参考系中描述^[9]。很自然,寻找一参考系使适从和刚度矩阵为对角矩阵将大大简化它们的应用。适从中心是指空间的某点,力只对该点产生移动位移,而力矩只产生角位移,以它作为参考点可最大限度地去耦掉矩阵中的移动和角位移的耦合项。

就沿螺钉轴线 z 方向加力矩拧螺钉的装配情

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ -\beta M_z \\ M_x \\ M_y \\ M_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} = k_m & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{22} = k_m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{33} = k_l & 0 & 0 & \frac{k_{33} - \beta \alpha k_{66}}{\alpha + \beta} \\ 0 & 0 & 0 & k_{44} = k_m & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_{55} = k_m & 0 \\ 0 & 0 & \frac{k_{33} - \beta \alpha k_{66}}{\alpha + \beta} & 0 & 0 & k_{66} = k_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \\ d_z \\ \theta_x \\ \theta_y \\ \theta_z \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, k_m 表示中等刚度, k_l 表示低刚度, $k_{63} = k_{36} = \frac{k_{33} - \beta \alpha k_{66}}{\alpha + \beta}$ 取决于 k_{33} , k_{66} , α 及 β 的数值,一般为负值,所以在大力矩拧螺钉时应同时施加一个 z 方向的力,以克服适从矩阵所产生的阻力。

3 螺钉柔顺夹持器结构设计及应用结果

系统中的机器人(SCARA 机器人)为刚性机械手,它和末端适从夹持器相结合可使机械手末

端而言, x 及 y 方向需要中等刚度以保持其位置,并容许一定的位置误差, z 方向的刚度要小以能获得 z 方向的力的控制,转动刚度都中等以保证转动位置和力矩都能控制。在初始阶段,拧螺钉过程是位置控制,在最后阶段为力矩控制, z 方向的力矩和 z 方向的运动最好应有一定的耦合以使螺钉驱动器在大力矩拧螺钉的同时提供拧螺钉方向的力,即要求 $k_{63} = 0$ 。它们之间的运动关系是:

$$\theta_z = \alpha d_z \quad (2)$$

对于右旋螺钉来说,施加在 z 轴上的力 F_z 会派生出 z 轴上的力矩 M_z , 其关系是:

$$F_z = -\beta M_z \quad (3)$$

式中 β 为与螺纹副的螺旋角及摩擦系数有关的参数。

根据式(1)~式(3),螺钉装配的刚度矩阵为:

${}^u K$

端具有被动适从的特点,根据螺钉装配适从矩阵,设计了结构如图2所示的柔性夹持器。

图中,可更换外六角螺钉套头以螺钉头顶部锥面定位采用钕铁硼强力磁石将外六角头螺钉吸入到套头中,具有定位准确、安装快捷特点。当需要装配不同规格尺寸的螺钉时,只需将该螺钉套头更换为相应规格的螺钉套头即可。

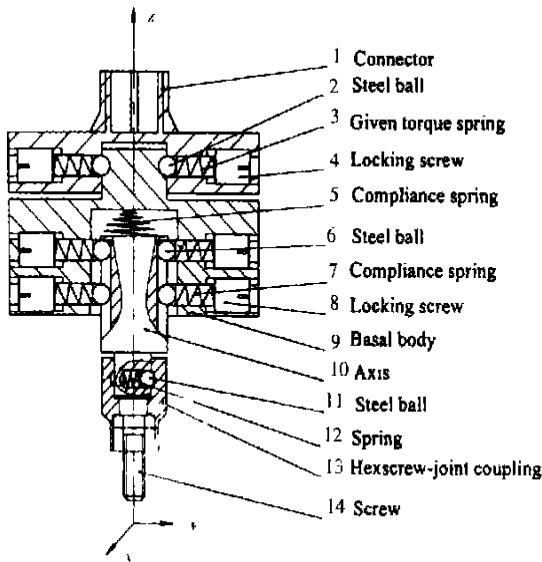


Fig 2 Screw flexible clip

z 方向弹簧比较软以实现 z 方向力的控制, x 、 y 方向的弹簧刚度的大小可通过紧定螺钉进行调节而达到所需的中等刚度。当轴上采用螺旋线滚道时, z 方向的力矩和 z 方向的运动有一定的耦合, 其大小及正负与滚道螺旋线的倾斜角及旋转方向有关。 z 轴方向的刚度受钢球直径和滚道深度的影响, 可计算获得与 x 、 y 轴相当的中等刚度。

为了安全起见, 夹持器上设计了接近开关安

装槽和轴的限位销钉, 可根据需要将接近开关和限位销钉安装在夹持器上限制 z 方向的位移。当 z 方向位移过大时, 限位接近开关被限位销钉压下而断开从而起到保护作用。

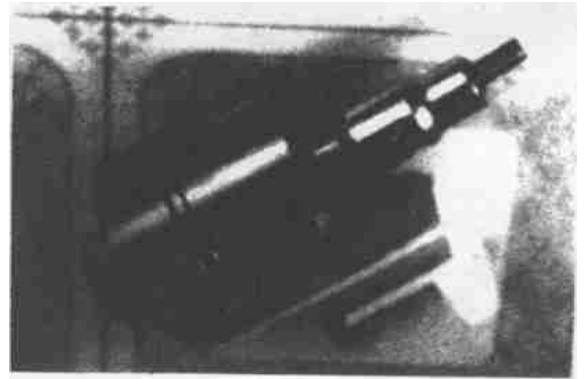


Fig 3 Photo of screw flexible clip

图 3 是我们设计制作的 SCARA 机器人螺钉柔顺夹持器的实物照片, 将该结构的螺钉柔顺夹持器的实物照片, 将该结构的螺钉柔顺夹持器安装到 SCARA 机器人上, 在螺纹孔与螺钉之间具有不同的位置及角度误差时, 进行螺钉的旋合实验^[10]。表 1 给出了该柔顺夹持器对普通螺纹配合 M 8-6H/6g 的螺钉和螺纹孔的装配所能适从的最大位置误差、最大角度误差和不同位置和角度最大复合误差的实验结果, 该初始旋合位置误差和角度误差范围为成功实现机器人螺钉柔性装配^[10]提供了良好的条件。

Table 1 Compliance combined tolerance from screw flexible clip

$\rho(\text{mm})$	1.3	1.0	0.7	0.4	0.2	0
$\theta(^{\circ})$	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.6

参考文献:

- [1] Hubert K Rampersad, bottlenecks & development tendencies in robotic assembly[J] Robotics Today, 1995, 8(3): 1~ 6
- [2] Lin M C, Manocha D, Ponamgi M. Fast algorithms for penetration and contact determination between non-convex polyhedral model[J]. IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1995: 2707~ 2712
- [3] 刘桂雄, 李绣峰, 谢存禧, 李玩雪. 互配零件机器人装配作业的几个关键问题[J]. 光学精密工程, 1998, 6(4): 15~ 23
- [4] 刘桂雄, 李绣峰, 谢存禧. 机器人螺纹装配中位姿偏差光纤传感检测方法的机理研究[J]. 光通信技术, 1998, 22(4): 269~ 273
- [5] 刘桂雄, 李绣峰, 林一松. 补偿型强度调制光纤传感器测量及处理的新方法[J]. 压电与声光, 1999, 21(3): 174~ 177
- [6] Wang W, Loh R N K. A total compliance model of a flexible robot. Technical Report[R]. Centre for robotics and advanced automation, Oakland University, 1997.
- [7] Schimmels J M, Peshkin M A. Admittance matrix design for force-guided assembly[J]. IEEE Transaction on Robotics and Automation, 1992, 8(2): 342~ 347.
- [8] Thomson W T. Theory of vibration with application (3rd ed)[M]. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall: 1988
- [9] Mason M T. Compliance and force control for computer controlled manipulators[J]. IEEE Transactions on System

Man, and Cybernetics, 1981, 11(6): 418~ 432

[10] 李绣峰 机器人螺钉柔性装配位姿纠偏机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 1999

Clip for robot screw flexible assembly system

L I Xiu-feng, L U Gui-xiong, KUANG Yong-cong

*(Department of Mechatronic Engineering, South China University
of Technology, Guangzhou 510640, China)*

Abstract: Based on the requirement of robot screw flexible assembly pose alignment strategy, the paper briefly introduces the styles of robot end tip compliance. It proposes stiffness matrix based expression method, designs and produces a screw flexible clip with the characteristic of reasonable compliance. Experimental results show that the extended scope of pose compliance sets up a good foundation for the execution of robot screw flexible assembly.

Key words: robot; screw flexible assembly; clip; passive compliance

作者简介: 李绣峰(1954-), 男, 1985年毕业于上海交通大学机械制造工艺与设备专业, 1987年至1989年在英国 Glasgow 大学学习, 并获工学硕士学位。现为华南理工大学机电工程系机械制造专业博士生, 研究方向为机器人技术及制造自动化, 在国内外发表学术论文 15 篇。

刘桂雄(1968-), 男, 广东揭阳市人, 1995年在重庆大学获精密仪器及机械专业工学博士学位, 现为华南理工大学机电工程系副教授、全国工业机器人标准化委员会委员、美国 SPIE 会员、《光通信技术》杂志编委、98年度省自然科学机械学科评审组成员、第二届广东省青年科学家学会会员。目前主持包括两项国家自然科学基金(59605022)(69785010)和多项省市重点攻关项目, 在国内外发表学术论文 50 余篇, 指导硕士生 5 名, 协助指导博士生 3 名。现在研究领域为机器人技术及制造自动化、光电检测技术。