

文章编号:2095—0411(2015)01-0011-05

面向笔记本外壳生产线的桁架机器人的研究和应用^{*}

佟 祯,邓嘉鸣,蒋永健,秦 娴

(常州大学 机械工程学院,江苏 常州 213164)

摘要:针对便携式计算机外壳前后盖生产线工序间的自动搬运问题,提出了一种适合于该类轻质平面型物料的桁架机器人设计思路。通过分析计算机外壳前后盖搬运的实际工况,并结合现有桁架机器人的特点,建立了桁架机器人的运动学模型,并据此分析了机器人的运动学性能,不仅成功研制了用于计算机外壳前后盖生产线工序间的桁架机器人,同时也为轻质易损平面型物料的自动搬运传输提供了极为有益的思路。

关键词:桁架机器人;平面类物料;搬运传输;运动学模型

中图分类号:TH 112

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.2095—0411.2015.01.002

Research and Application of Truss Manipulator for the Computer Back Cover Production Line

TONG Zhen,DENG Jia-ming,JIANG Yong-jian,QIN Xian

(School of Mechanical and Engineering,Changzhou University,Changzhou 213164,China)

Abstract: For the problem of automated handing and transmission between the production process of shells of notebooks computer, a novel truss manipulator suited for light-weight and easily-worn plane parts is proposed. Through analyzing the situation of automated handing and transmission system, combining the characteristics of truss manipulator, a kinematics model is built and kinematics characters of the robot are analyzed. Finally, based on above results, a truss manipulator, applied to hand and transmit shells of notebooks, is successfully developed, which offers new ideas for automated handing and transmission of light-weight and easily-worn plane parts.

Key words: truss manipulator; plane parts; handing and transmission; kinematic mode

工业机器人自 20 世纪 60 年代问世以来,经过 60 多年的发展,已广泛应用于多个工业领域。尤其在制造业自动化生产线上,替代生产操作工人完成着复杂、精密、繁重或者充满着危险的工作^[1]。目前工业机器人按其结构特点大致可分为串联式、并联式和混联式机器人。其中串联式机器人又可分为直角坐标机器人、柱面坐标机器人、球面坐标机器人及关节式机器人。

直角坐标机器人又称桁架机器人,在工业生产中应用广泛^[1]。由于该类机器人工作空间大,便于控制,因而多用于物料的搬运传输。主要针对便携式计算机外壳前后盖(一种典型的轻质平面型物料)生产线的工况,提出了自动搬运的设计思想,以达到工序间自动传输物料的目的。目前便携式计算机外壳主要由中国制造,但工序间的衔接却仍然依靠人工完成,导致计算机外壳前后盖搬运传输精度低,同

^{*} 收稿日期:2014-09-16。

作者简介:佟祯(1991—),女,江苏徐州人,硕士生。通讯联系人:邓嘉鸣(1963—),E-mail:czdydj@126.com

时也极易造成外壳前后盖表面质量的受损。为此,针对便携式计算机外壳前后盖自动生产线的要求,研制一种具有可靠使用性能的新型桁架机器人,不仅能解决计算机外壳生产工序间的自动搬运传输问题,使整个生产过程实现自动化,还有利于提高产品的质量和市场竞争力。

1 桁架机器人的设计分析

1.1 笔记本外壳的现场生产工况

目前,国内从事便携式计算机外壳生产的厂家一般为劳动密集型企业,很多厂家都采用一种实用性极强的翻板式多层料车,用于外壳前后盖生产工序间的搬运传输(如图 1 所示),该车为一种轮式人力推车,有多层平行布置的翻转式料板构成,料板上用于安放待处理的外壳前后盖。料车依靠人力穿梭于各工序工作位置,由人工逐层翻转多层料板,并抓放外壳前后盖至下道工序指定位置,即外壳前后盖上、下料车的过程均需人工“染指”,因而极易造成外壳前后盖表面质量的瑕疵。



(a) 多层翻板料车实体图 (b) 多层翻板料车示意图

图 1 翻板式多层料车

Fig. 1 Panel turnover multilayer skip

1.2 桁架机器人的总体方案

针对上述问题提出了一种桁架机器人方案,以替代人工完成在料车料板上放置前后盖、逐层翻转料板、从料板上抓取前后盖,以及将前后盖准确排在自动输送带上等一系列工序。总体方案(如图 2 所示)可简单地描述如下:

1) 桁架机器人主要由机器人主机构、翻板式多层料车定位及上下升降机构、料板自动翻转机构、工序间自动输送带机构、前后盖位姿视觉检测及纠偏机构等几部分组成。

2) 工作时,将翻板式多层料车送至规定工位并

定位,该工位作为桁架机器人的工作起点。由于翻板式料车料板高度各不相同,为简化桁架机器人的结构和运动轨迹,以提高搬运工作的可靠性,设计中采用料车上下升降的方案,以调节料车多层料板的不同高度,使料车的工作层料板与自动输送带始终处于同一高度。

3) 料车料板自动翻转机构的作用在于将取完料的空置料板翻转。随即料车在升降机构的驱动下上升一个层高,以供桁架机器人抓取该料板上的前后盖。

4) 桁架机器人的抓放机构采用真空吸盘的方式,通过 X、Y 2 个方向的水平移动至当前工作层料板上方,并作 Z 方向的竖直移动,由真空吸盘完成对外壳前后盖的抓放。在搬运移动过程中,通过视觉纠偏机构,实现外壳前后盖的位姿调整。

5) 当前工作层料板上的前后盖取完后,在确认已无遗漏,工作层料板即转化为空置料板。则由料板翻转机构完成对该空置料板的翻转,而后料车继续上升一个层高,进入下一层料板的抓放循环。

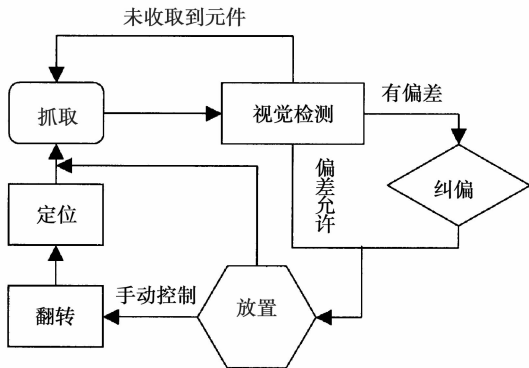


图 2 总体方案

Fig. 2 Overall plan

1.3 机型设计

依据总体方案,对桁架机器人各部分进行细化,其各部分机构如图 3 所示。

如前所述,满载外壳前后盖的翻板式多层料车到达工作工位并处于最低位置后,即可由升降机构调节其最高层料板与输送带处于同一高度,使桁架机器人抓放机构只需作水平二维运动即可到达抓放工位,进行抓取作业。

桁架机器人主机构以笛卡尔串联机构为核心,组成 4 自由度直角坐标机构,抓放机构可作沿 X、Y 2 个方向的水平运动,并可沿 Z 轴作竖直方向的上下运动和绕 Z 轴轴线的回转运动(由视觉机构判定

所需回转的纠偏角度,以保证外壳的准确位姿)。由于工作层料板可上下升降,因而沿 Z 轴的上下运动仅需作微动(以满足真空吸放的要求)。

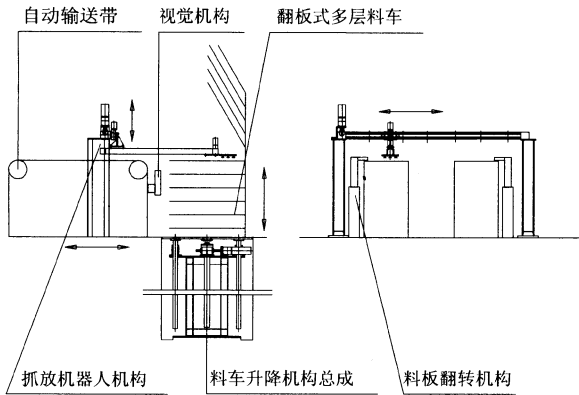


图 3 桁架机器人原理示意图

Fig. 3 Principle diagram of truss manipulator

1.4 主机机构运动学性能分析

对机构建立运动学模型,进而通过 D-H 法分析其正逆解,并结合 Matlab 软件研究其运动学性能^[2]。

1.4.1 运动学模型建立

桁架机器人抓放机构模型示意图如图 4 所示。对主机机构建立坐标系^[3]:与机座固接的坐标系记为{0};与横梁固接的坐标系记为{1};与抓放机构底部

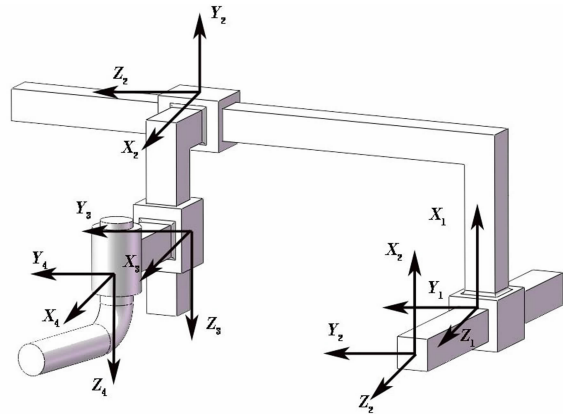


图 4 桁架机器人抓放机构模型示意图

Fig. 4 A model for moving mechanism of truss manipulator

固接的坐标系记为{2};与抓放机构上真空吸盘座固接的坐标系记为{3};与真空吸盘固接的坐标记为{4}。则可得桁架机器人主机机构的运动参数见表 1。表 1 中 S_1 为动坐标系{1}相对定坐标系{0}在 Z_0 方向上的位移; S 为动坐标系{2}相对动坐标系{1}在 Y_1 方向上的位移; S_3 为为动坐标系{3}相对动坐标

系{2}在 Y_2 方向上的位移; θ_4 为动坐标系{4}相对动坐标系{3}绕 Z_3 轴的转动角度。由此可由表 1 得出抓放机构的运动方程如下:

表 1 桁架机器人主机机构的运动参数

Table 1 Motion parameters of host structure of truss manipulator				
i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i	θ_i
1	0	0	s_1	0
2	$-\frac{\pi}{2}$	500	s_2	$-\frac{\pi}{2}$
3	$\frac{\pi}{2}$	100	s_3	0
4	0	200	0	θ_4

$$T_{0,1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & S_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{1,2} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 500 \\ 0 & 0 & 1 & S_2 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{2,3} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 100 \\ 0 & 0 & -1 & -S_3 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_{3,4} = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & -\sin\theta_4 & 0 & 200 \\ \sin\theta_4 & \cos\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

1.4.2 运动学正逆解

1) 运动学正解

设末端执行器(抓放机构)姿态在基座标下表示为:

$$T'_{04} = \begin{bmatrix} n_x & o_x & \alpha_x & p_x \\ n_y & o_y & \alpha_y & p_y \\ n_z & o_z & \alpha_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

由 $q=[S_1 \ S_2 \ S_3 \ \theta_4]$ 得到运动学方程:

$$T_{0,4} = T_{0,1} \cdot T_{1,2} \cdot T_{2,3} \cdot T_{3,4} =$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 500 - S_3 \\ \sin\theta_4 & \cos\theta_4 & 0 & S_2 \\ \cos\theta_4 & -\sin\theta_4 & 0 & 300 + S_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

且 $T'_{04} = T_{04}$ 得到运动学正解方程:

$$\begin{aligned} n_x &= 0 & \alpha_x &= -1 \\ n_y &= \sin\theta_4 & \alpha_y &= 0 \\ n_z &= \cos\theta_4 & \alpha_z &= 0 \\ o_x &= 0 & p_x &= 500 - S_3 \\ o_y &= \cos\theta_4 & p_y &= S_2 \\ o_z &= -\sin\theta_4 & p_z &= 300 + S_1 \end{aligned}$$

2) 运动学逆解

由于笛卡尔串联机构逆解易求的属性,即可解得运动学逆解方程:

$$\begin{aligned} S_1 &= p_z - 300 & S_2 &= p_y \\ S_3 &= 500 - p_x & \theta_4 &= \arcsin n_y \end{aligned}$$

1.4.3 重要关节的速度及加速度分析仿真

在搬运作业过程中,主机机构的移动速度是影响整机工作效率的关键。其中关节 S_1 的移动速度,是主机机构一个工作循环周期长短的决定因素。结合 Matlab 软件对 S_1 关节进行速度及加速度分析,以研究机器人在平稳工作的前提下,主机机构达到的速度及加速度极值问题^[4]。

利用 Matlab 软件中的 Robotics Toolbox 模块^[5-6],构造桁架机器人主机机构的运动模型,如图 5、图 6 所示。即可得关节 S_1 在作业过程中的极限位置,设初始位置为 A,末端位置为 B。

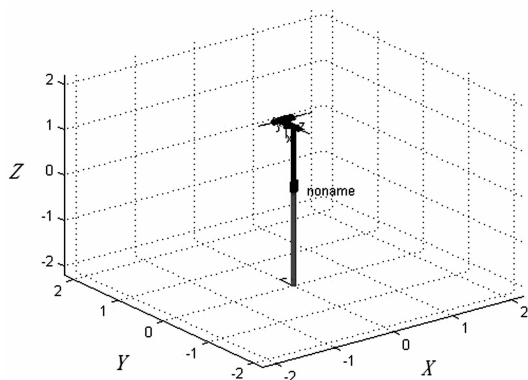


图 5 三维模型初始位置

Fig. 5 Initial position of 3D model

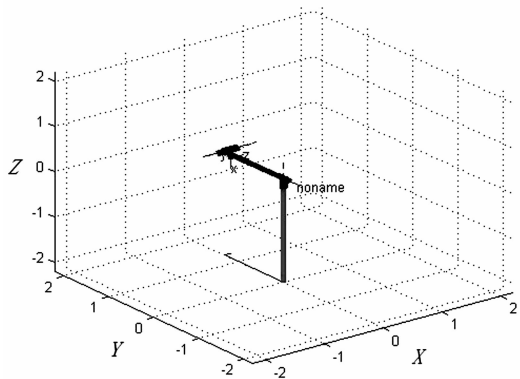


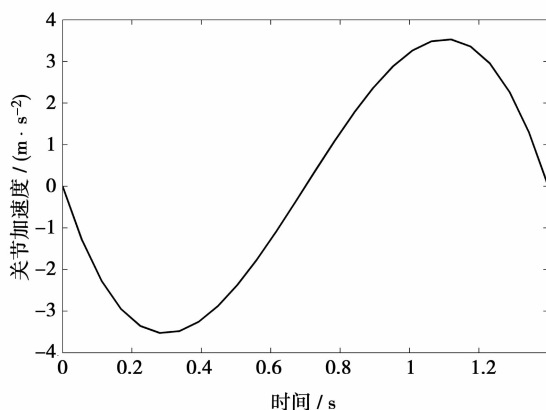
图 6 三维模型末端位置

Fig. 6 Terminal position of 3D model

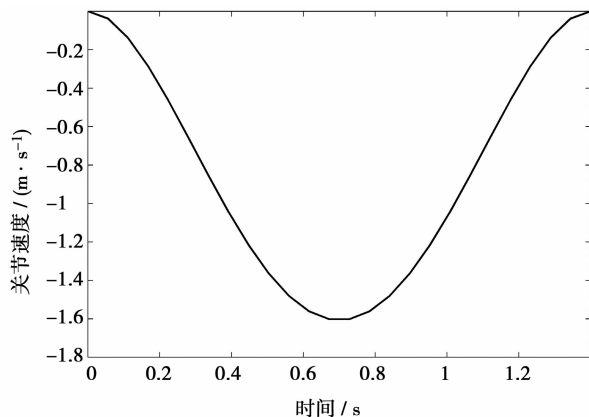
通过逆解方程,可知 A、B 两点各关节的运动参数分别为 $q_A = [0.1 \ 0.8 \ 1 \ 0]$ 及 $q_B = [1.3 \ 0.8 \ 1 \ 0]$,说明从 A 点运动到 B 点,关节 S_1 需要移动 1.2m,

按照外壳前后盖生产线效率要求,设置运动时间为 1.4s,对其进行仿真^[7],可得其速度及加速度的变化值,如图 7 所示。

从仿真的速度及加速度曲线可以看出,运动整体较为平稳,其速度极值为 $1.869 \ 0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,加速度极值为 $4.114 \ 3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。可知当关节 S_1 的运行时间为 1.4s 时,不仅能满足现场的工况要求,也能满足桁架机器人运动性能要求。



(a) 加速度图



(b) 速度图

图 7 关节速度及加速度变化

Fig. 7 Diagram of speed and acceleration of joint change

2 结构设计及样机研制

2.1 结构设计

2.1.1 桁架机器人主机构

如图 8 所示,机器人主机构由机座、横梁总成及抓放机构等组成。抓放机构安装在可移动的横梁总成上,可沿横梁作直线运动,并可由丝杠副驱动作 Z 向上下运动,其末端安装可绕 Z 轴轴线回转的真空吸盘,以实施外壳的吸放和位姿调节。横梁总成则

跨装在机座上,通过伺服电机驱动沿机座上导轨运动,从而实现外壳的准确抓放和传输。

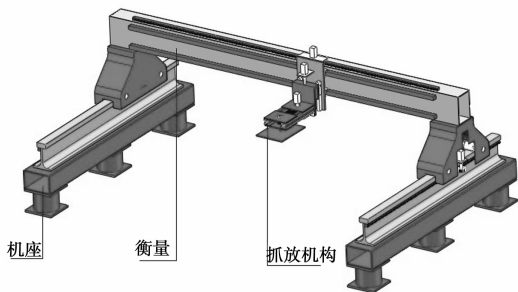


图 8 桁架机器人主机构

Fig. 8 Mainmechanism of truss manipulator

2.1.2 料板翻转机构

图 9 为料板翻转机构,主要由翻转手臂、导轨及上、下支柱等组成。下支柱为固定机架,镶套在下支柱中的翻转手臂可作 Z 向上下运动。工作时,翻转手臂翻转头处于水平姿态,随上支柱运动至空置料板外侧下方,并水平运动插入料板下方,随即完成绕 X_1 轴的翻转,使空置料板实现上翻。料板翻转完成后,翻转机构通过与上述路线的反向运动回至初始位置。

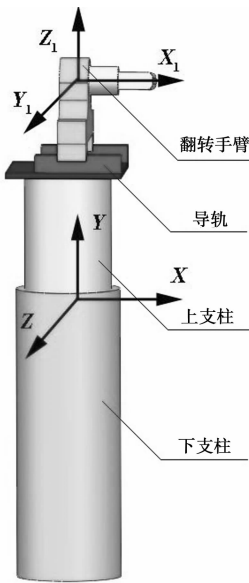


图 9 料板翻转机构示意图

Fig. 9 Schematic diagram of plate turnover mechanism

2.2 样机研制

利用 Solidworks 软件进行三维建模并导入 Ansys 分析软件进行结构力学优化分析,结合电气控制,研制成快速高效的桁架机器人实物样机,如图

10 所示。



图 10 桁架机器人实物图

Fig. 10 The picture of truss manipulator

3 结 论

根据笔记本外壳前后盖的实际生产工况及生产要求,提出了前后盖生产线工序间桁架机器人的设计的原理和设计思想,确定了桁架机器人的具体设计思路,并应用 Solidworks 及 Matlab 软件对虚拟样机进行三维建模与仿真,以优化桁架机器人的设计参数,并在此基础上研制了外壳前后盖生产线工序间桁架机器人,为轻质易损平面类物料的自动搬运提供了极为有益的思路。

参考文献:

[1]蔡自兴. 机器人学[M]. 北京:清华大学出版社,2000:7,21.
[2]Shen H P, Yang T L, Ma L ZH. Synthesis and structure analysis of kinematic structures of 6-dof parallel robotic mechanisms[J]. Mechanism and Machine Theory, 2005,40:1167-1180.
[3]石磊,金钟全. 四自由度机器人的建模和仿真[J]. 组合机床与自动化加工技术,2012(3):37-39.
[4]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,2005,44(5):640-644.
[5]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):140-143
[6]苏学满,孙丽丽. 基于 matlab 的六自由度机器人运动特性分析[J]. 机械设计与制造,2013(1):78-80.
[7]蒋永健,邓嘉鸣,秦炯. 面向工业风机叶片划线的 2-DOF 并联机构运动特性分析[J]. 常州大学学报(自然科学版),2014,26(3):28-32.

(责任编辑:李艳)