

文章编号:1673-9469(2012)04-0101-04

基于 LabVIEW 的 3-UPS-1-PS 并联机构控制系统设计

谢立臣¹,王海博²,颜亮¹

(1 河北工程大学 机电工程学院,河北 邯郸 056038;2 邯郸市生产力促进中心,河北 邯郸,056002)

摘要:根据 3-UPS-1-PS 并联机构模型、硬件组成及其控制原理建立反解方程,并确定并联机构速度传递矩阵;针对 3-UPS-1-PS 并联机构特点,以 LabVIEW 2010 作为开发平台,采用“PC+运动控制卡”的设计方案,开发了基于 LabVIEW 的多轴运动控制系统,通过 PCI-7354 运动控制卡和 UMI-7774 数据采集卡实现对机构的驱动控制。仿真实验表明该系统能够准确地实现单轴和多轴联动控制,操作方便,界面友好。

关键词:LabVIEW; 运动控制卡; 并联机构; 电机控制

中图分类号:TP249

文献标识码:A

Control System Design for 3-UPS-1-PS Parallel Mechanism based on LabVIEW

XIE Li-chen¹, WANG Hai-bo², YAN Liang¹

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China;

2. Handan Productivity Center, Hebei Handan 056002, China)

Abstract:The anti solving equations were established according to the a 3-UPS-1-PS parallel mechanism model, hardware composition and control principle and the speed transfer matrix of the parallel mechanism was confirmed; Aimed at characteristics of 3-UPS-1-PS parallel institutions, multi-axis motion control system based on LabVIEW was developed by according to the “PC+motion control card” design. The design was expected to drive control of the organization through the PCI-7354 motion control card and UMI-7774 data acquisition card. Simulation results show that the system is capable of accurate single-axis and multi-axis control. The system software is easy to operate and friendly interface.

Key words:LabVIEW; Motion control card; Parallel mechanism; Motor control

并联机构具有结构简单、刚度大、精度高、负载能力强、高速性能好、控制简单等特点,并联机构的控制也有很多成熟方案,如液压缸驱动圆柱副、直线电机驱动移动副和旋转电机驱动螺旋副等^[1]。结合并联机构优点,国内外已有很多专家将并联机构应用在汽车薄板件柔性可重构夹具中^[2]。本文以汽车焊装线上作为薄板件柔性夹具结构基础的 3-UPS-1-PS 并联机构控制系统为研究对象,研究 3-UPS-1-PS 并联机构的控制系统的设计及实现。

1 3-UPS-1-PS 机构模型及控制原理

1.1 机构模型

3-UPS-1-PS 并联机构由动平台、静平台、3 个 UPS 支链(A_1B_1, A_2B_2, A_3B_3)和 1 个 PS 约束链(A_4B_4)组成,见图 1。在 3 个 UPS 支链上分别装有电机,电机带动 UPS 支链上的滚珠丝杠,丝杠通过球副连接到动平台,从而实现动平台运动。

根据 Kutzbach Grubler 公式,空间机构自由度

收稿日期:2012-06-23

基金项目:河北省自然科学基金项目(E2010001010)

特约专稿

作者简介:谢立臣(1986-),男,河北邯郸人,硕士研究生,从事并联机构控制系统方面的研究。

M 为

$$M = 6(n - g - 1) + \sum_{i=1}^g f_i - f_g$$

式中: n - 空间机构的总构件数; g - 空间机构的运动副数; f_i - 第 i 个运动副的自由度数; f_g - 空间机构的局部自由度数。

则本并联机构自由度 M 为

$$M = 6 \times (9 - 11 - 1) + (7 \times 3 + 4 \times 1) - 3 = 4$$

其中包括: 1 个移动自由度, 3 个转动自由度。

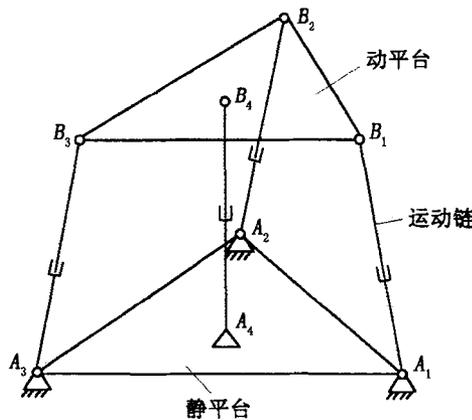


图1 并联机构结构简图

Fig.1 The diagram of parallel institutional structure



图2 系统连接图

Fig.2 The diagram of system connection

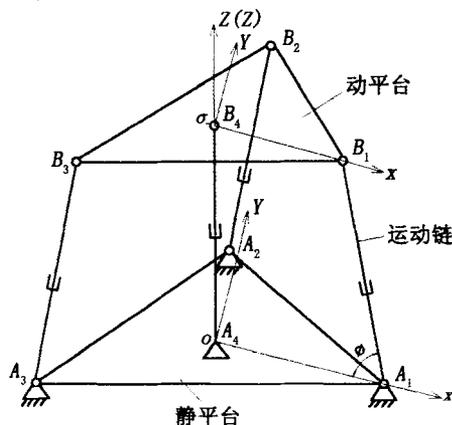


图3 坐标系图

Fig.3 The diagram of coordinate system

1.2 硬件组成

该控制系统由 NI 公司的 PCI - 7354 运动控制卡、UMI - 7774(4 轴)多功能数据采集卡和松下小惯量全数字式交流伺服电机 MSMD - 04 - Z - P - 1 - U 和自带的驱动器 MBDDT2210 组成^[3]。系统连接,见图 2。

1.3 控制原理

在动、静平台上分别建立动坐标系 $O' - X'Y'Z'$ 和绝对坐标系 $O - XYZ$, $O'O$ 和支链 A_4B_4 重合, $O'B_1$ 作 X' 轴, OA_1 作 X 轴, 见图 3。

支链 A_iB_i ($i = 1, 2, 3$) 与静平台的夹角为 φ 。 r_1 为动平台外接圆半径, 即动平台上外接圆周上的铰链中心到外接圆圆心的铰链中心的距离, r_2 为静平台外接圆半径, 即静平台上外接圆周上的铰链中心到外接圆圆心的铰链中心距离。令 $\{C_i\}$ 为动平台的第 i 个铰点在 $O' - X'Y'Z'$ 中的坐标。由于 O' 点是动点, 故 $\{C_i\}$ 为相对坐标, $\{A_i\}$ 为静平台的第 i 个铰点在 $O - XYZ$ 中的坐标, 即绝对坐标; $[R]$ 为由 $O' - X'Y'Z'$ 坐标系到 $O - XYZ$ 坐标系的旋转矩阵。则

$$\{C_i\} = [X(C_i)Y(C_i)Z(C_i)] = r_1 [\cos\alpha_i \sin\alpha_i 0]^T \quad i=1,2,3$$

$$\{A_i\} = [X(A_i)Y(A_i)Z(A_i)] = r_2 [\cos\alpha_i \sin\alpha_i 0]^T \quad (1)$$

$$\{B_i\} = [X(B_i)Y(B_i)Z(B_i)]^T$$

式中: α_i - 以 O 为端点, 分别过第 i 个铰点和第 $i-1$ 个铰点的两条射线组成的夹角度数。

$$\alpha_i = (i - 1) \pi / 3$$

由式(1)得

$$\{A_1\} = [r_2 \ 0 \ 0]^T$$

$$\{A_2\} = [-r_2/2 \ \sqrt{3}r_2/2 \ 0]^T$$

$$\{A_3\} = [-r_2/2 \ -\sqrt{3}r_2/2 \ 0]^T$$

$$\{A_4\} = [0 \ 0 \ 0]^T$$

设动平台绕 X 、 Y 、 Z 轴的旋转角度分别为 α 、 β 、 γ , 则移动参考系变换到固定参考系的旋转矩阵 $[R]$ 为

$$[R] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\gamma & -\sin\gamma & 0 \\ \sin\gamma & \cos\gamma & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

用齐次坐标矩阵来表示动平台的位置姿势矩阵 $[G]$ 为

$$[G] = \begin{bmatrix} R & P \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

动坐标系 $O'-X'Y'Z'$ 中的任一点 $[Q] = [x' y' z']$ 中为

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = [G] \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} = [R] \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} + \{P\} \quad (2)$$

$\{P\} = \{P_x P_y P_z\}$ 为动平台中心 O' 在固定参考系中的绝对坐标,在机构中 $\{P\} = \{0 0 P_z\}$,由式(2)得

$$\{B_i\} = [R] \{C_i\} + \{P\} \quad (3)$$

将式(3)写成向量形式:

$$R(B_i) = [R]R(C_i) + R_p \quad (4)$$

式中: $R(B_i)$ - 铰接点 B_i 在固定参考系 $O-XYZ$ 中的矢量; $R(C_i)$ - 铰接点 B_i 在固定参考系 $O'-X'Y'Z'$ 中的矢量; RP - 动平台中心 O' 在固定参考系 $O-XYZ$ 中的矢量。

对式(4)求导得

$$R' = V(B_i) = W \times R(B_i) + V \quad i=1,2,3,4$$

式中: $V(B_i)$ - 铰链点 B 在固定参考系 $O-XYZ$ 中运动速度; W - 动平台角速度; V - 动平台中心 O' 在固定参考系 $O-XYZ$ 中的运动速度。

将 $V(B_i)$ 向 L_i 投影,可得到第 i 根杆的长度变化速率(输入速度) L_i' 为

$$\begin{aligned} L_i' &= V(B_i) \cdot n_i = [W \times R(B_i) + V] \cdot n_i \\ &= [R(B_i) \times n_i] \cdot W + V \cdot n_i \\ &= [(R(B_i) \times n_i)^T n_i^T] \times \begin{bmatrix} W \\ V \end{bmatrix} \end{aligned}$$

式中: n_i - 沿第 i 根杆轴向上的单位列向量。即

$$L_i' = J V_m \quad i=1,2,3,4$$

式中: V_m - 动平台运动速度(输出速度)。 J - 并联机器人的 Jacobian 矩阵,即速度传递矩阵。

$$J = \begin{bmatrix} (R_{B1} \times n_1)^T & n_1^T \\ (R_{B2} \times n_2)^T & n_2^T \\ (R_{B3} \times n_3)^T & n_3^T \\ 0 & n_4^T \end{bmatrix}$$

速度传递矩阵表示了支链与动平台的速度映射关系^[4-5],通过 LabVIEW 的公式节点功能,将映射方程编辑成模块,在程序中调用。

在工作中,并联机构作为薄板件柔性夹具的结构基础,为了适应新车型车身骨架总成组焊,需要调整其动平台位姿,以保证安装在动平台上的板件夹具能够很好的夹紧车身板件。3 个电机的单一运动精度和协调运动精度,决定了动平台位姿调整精度。为此,在控制系统中安装反馈装置,形成闭环系统,保证动平台位姿精度,见图 4。

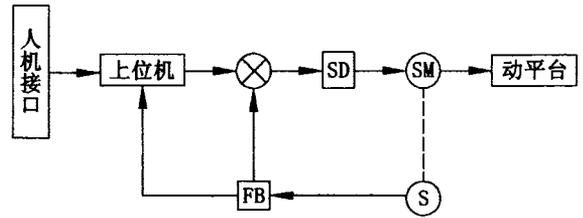


图4 并联机构闭环控制结构图

Fig. 4 The diagram of parallel mechanism closed-loop control structure

2 控制系统软件实现

仪器控制是在仪器和计算机之间发送命令和数据。它需要将仪器与计算机连接起来协同工作,同时还可以根据需要延伸和拓展仪器的功能。完整的仪器控制系统除了包括计算机和仪器外,还必须建立仪器与计算机的通路以及上层应用程序,通路包括总线和针对不同仪器的驱动程序,上层应用程序用于发送命令、仪器的控制面板显示以及数据的采集、处理、分析、显示和存储等^[6-7]。

LabVIEW (laboratory virtual instrument engineering workbench) 是一种图形化的编程语言和开发环境,是标准的数据采集和仪器控制软件。LabVIEW 用于仪器控制开发环境的优点:支持多种仪器驱动和总线,提供丰富的接口,支持 OPC、ActiveX、DLL 调用和网络通信等。本控制系统程序由虚拟仪器 LabVIEW 进行编制。其系统构架,见图 5。

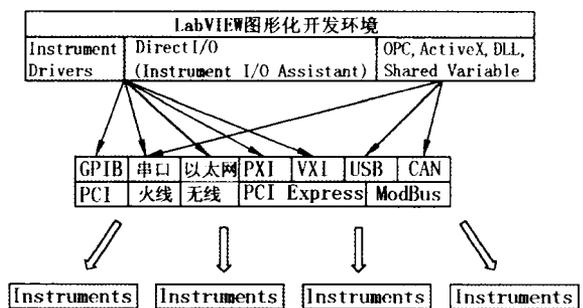


图5 系统构架图

Fig. 5 The diagram of system architecture

3 主要功能模块介绍

3.1 指令输出流程

指令输出程序用于向运动控制卡发送控制命令。当伺服系统通电后,程序定时循环。 A_1B_1, A_2B_2, A_3B_3 支链对应的 TF 数据由 0 变 1,支链被激活,程序自动寻找对应的子 VI 运行,进行支链

控制。根据需要可以提前在控制参数界面输入运动速度倍率或加速度倍率,用于控制支链运动快慢。同时支链运动还可以在控制界面选择自动运行或者手动运行,见图6。

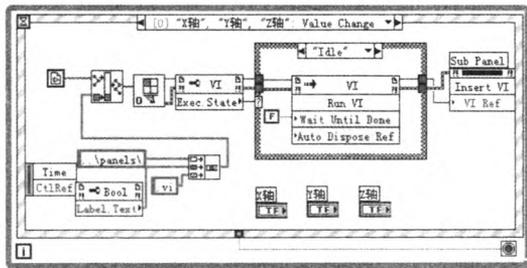


图6 控制指令输出程序

Fig.6 The program of control command output

3.2 限位报警流程

限位报警程序用于接受位置传感器的反馈信号,判断支链是否超程。在 A_1B_1, A_2B_2, A_3B_3 支链的运动杆件上装有限位器,在运动过程中,如果运动杆件超出规定位置,传感器就会发出反馈信号,TF 数据由 0 变 1,报警开关自动打开,报警器开始报警。同时,case 结构的数据流通过输出端子,将报警数据进行加法运算依次累加。

机构超出限位,报警器自动报警并且断电停止机构运动。按住操作界面释放按钮、超出限位支链对应的操作按钮,手动向相反方向移动,可进行复位,报警系统此时停止报警,报警计数器自动进行记录,见图7。

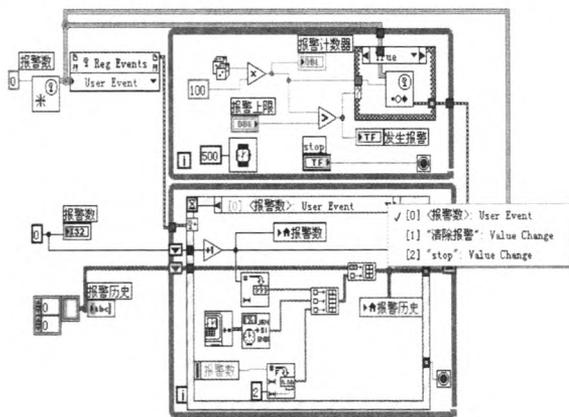


图7 系统报警流程图

Fig.7 The flowchart of system alarm

3.3 人机交互流程

人机交互界面用于设置工作需要得初始参数,程序运行后,初始参数进行数模转换,硬件系统产生脉冲信号,伺服系统通过将脉冲信号放大

控制电机。电机带动丝杆,使动平台位姿达到夹具需要的角度。人机交互界面上包括自动运行、手动运行、速度倍率调节按钮和运行结果监控显示屏,界面上的 X、Y、Z 轴按钮,分别对应 A_1B_1, A_2B_2, A_3B_3 支链,见图8。

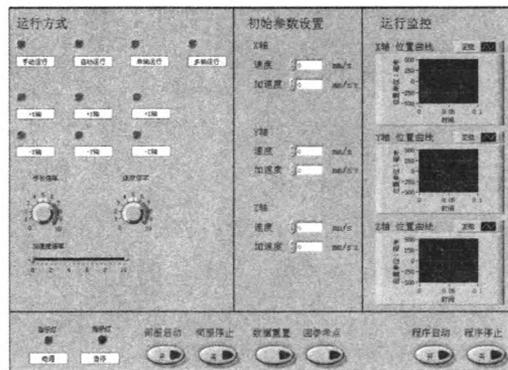


图8 人机交互界面

Fig.8 The interface of interactive

4 仿真实验

采用本系统软件对 3-UPS-1-PS 并联机构进行控制仿真实验。首先,运行 Max 程序,检测运动控制卡。然后,打开交互界面的启动按钮,输入速度和加速度参数。最后,点击运行按钮^[8-10]。系统流程见图9。

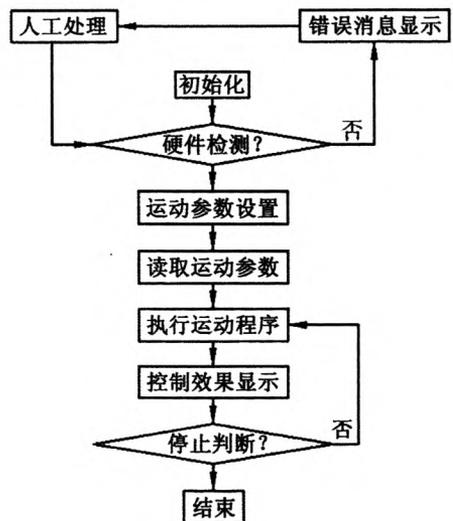


图9 系统流程图

Fig.9 The flowchart of system

为了验证在 LabVIEW 系统控制下,并联机构能够按照实际工作情况,在规定的运动空间内,灵活、速度的达到目标位姿,通过让 A_1B_1 支链运动,使动平台倾斜 30° ,观察动平台完成实验过程中,其输出速度曲线,见图10。经过试验,动平台在达到预定结果后,速度符合工作要求。(下转第113页)

- [4] 梁镇, 刘岩. 我国人才测评技术发展现状分析[J]. 商业研究, 2002, 38(1): 35-37.
- [5] 牛丽文, 夏冬艳, 任丽媛. 基于未确知测度的企业业绩评价模型研究[J]. 河北建筑科技学院学报, 2006, 26(3): 91-94.
- [6] 李万庆, 张立宁, 孟文清. 基于信息熵与未确知测度的MIS综合评价模型研究[J]. 河北建筑科技学院学报, 2005, 22(3): 49-53.
- [7] 王晓波. 基于未确知测度理论的CCPM缓冲区尺寸设计[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2011, 28

(1): 76-80.

- [8] 曹庆奎, 李琴, 于兵. 基于未确知测度的高新区技术创新环境评价[J]. 科技进步与对策, 2009, 26(9): 124-127.
- [9] 曹庆奎, 李建光, 杨艳丽. 基于信息熵和灰关联分析的煤矿企业供应商评价选择研究[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2008, 25(1): 81-84.
- [10] 吴茂森. 概率与信息[M]. 上海: 科学技术出版社, 1960.

(责任编辑 刘存英)

(上接第104页)通过实验可证明 LabVIEW 系统控制下软硬件的可行性。

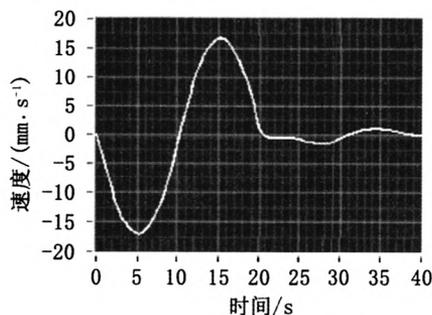


图10 速度曲线图

Fig. 10 The diagram of speed curve

5 结束语

仿真实验表明,基于 LabVIEW 的 3-UPS-1-PS 并联机构控制系统稳定,能够实现独立和联动的控制方式,动平台输出速度平稳,可靠。为了完善对动平台的控制,需要提高系统精度。动平台的位置精度和误差修正将是下一步研究方向,最终目标是提高机构的控制精度。该系统具有以下特点:操作简单,界面友好,操作人员可以对运动参数一目了然。

参考文献:

- [1] 郭大杰,沈卫平,胡挺. 基于 LabVIEW 的 3-PRRRR

移动并联机构控制系统[J]. 机电工程, 2010, 27(8): 49-51.

- [2] 于洪健. 基于并联机器人机构的汽车薄板件柔性装配夹具研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [3] 郭庆鼎, 孙宣标. 现代永磁电动机交流伺服系统[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [4] 于淑政, 冯继刚, 崔国华, 等. 3UPS-1S 并联机构的运动学分析[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2011, 28(3): 97-99.
- [5] 徐立军, 何颖. 模糊 PID 控制结构分析[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2012, 29(2): 71-74.
- [6] 尹一鸣. 基于 LabVIEW 的过程控制实验平台设计[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2010.
- [7] 刘溯. 1T3R 并联机器人设计及其实验装置研制[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
- [8] 王南, 张莉婷, 郝莉红. 空间 3-UPU/UPU 机构的刚度分析[J]. 河北工程大学学报: 自然科学版, 2012, 29(3): 85-87.
- [9] 丛爽, 李泽湘. 实用运动控制技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [10] 陈锡辉, 张银鸿. LabVIEW 8.20 程序设计从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.

(责任编辑 马立)