

大型刚体调姿实验平台手轮功能的实现

扈慧强, 李江雄*

(浙江大学 现代制造工程研究所, 浙江 杭州 310027)

摘要:针对一种六自由度并联机构-大型刚体调姿实验平台中手轮功能的开发难题,提出了建立手持单元与控制系统工作站之间串口通信的方法,开发出了手持单元的人机交互功能,实现了现场所有定位器单个驱动轴的速度控制和多定位器驱动轴协同运动控制,完成了刚体位姿变化。该方法已成功应用于大型刚体调姿实验平台控制系统。研究结果表明该方法有很好的工程应用价值,对并联机床手轮功能的开发也有一定的参考价值。

关键词:并联机构;手轮功能;串口通信

中图分类号:TH137

文献标识码:A

文章编号:1001-4551(2010)04-0012-04

Development of handwheel function of attitude adjustment system

HU Hui-qiang, LI Jiang-xiong

(Institute of Modern Manufacturing Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming at the difficulties of handwheel function development in larger rigid body attitude adjustment system, the method setting up the serial communication between handwheel and computer was given. The man-machine interactive function of handwheel was developed. All the location device's single-axis motion control and multi-axis cooperative motion control which were used in attitude adjustment was finally accomplished. The method has been applied to the parallel attitude adjustment system. The results indicate that the method is of certain value for engineering application. And it has some reference value to the handwheel development of parallel machine tools.

Key words: parallel; handwheel; serial communication

0 引言

自从 1965 年 Stewart 提出将 6 自由度并联机构作为训练飞行驾驶员的飞行模拟器以来,凭借其输出精度高、刚性好、承载能力强、便于控制、结构简单稳定等特点,并联机构得到了广泛的应用与发展^[1-3]。大型刚体调姿实验平台作为一种特殊的数控专用设备,手轮功能也是不可或缺的功能。传统数控设备一般只需通过手摇脉冲发生器发送相应指令脉冲控制单轴电机就可以实现。且相应的操作轴向及脉冲倍数的选择通过简单的开关量信号读取来判断。

在本平台中,刚体由 3 个三坐标定位器支撑,刚体的位姿变化需要通过这 9 个轴的同步协调运动来实现,即将笛卡尔坐标系的刚体运动通过逆解运算转换

为各伺服轴(实轴)的协同运动^[4-5]。因此,要求该平台的手轮功能既能实现所有单个设备的运动控制,又能实现对刚体位置姿态的运动控制。这与传统数控设备的手轮功能有着本质的不同,其必须依靠手持单元与工作站之间的协同控制才能实现。同时为了保证对操作者手摇脉冲输入动作的快速响应和实时处理,需要系统实时性强,从而使程序设计更加困难和复杂。

本研究结合大型刚体调姿实验平台的开发实践,基于 EUCHNER 手持操作单元,介绍适用与该平台的手轮功能开发。

1 硬件介绍

1.1 调姿实验平台

本调姿实验平台由 3 个三坐标支持机构组成,可

收稿日期:2009-11-09

作者简介:扈慧强(1985-),男,宁夏彭阳人,主要从事飞机数字化装配控制系统软件方面的研究. E-mail: huiqianghu@gmail.com

通信联系人:李江雄,男,副教授,硕士生导师. E-mail: ljxiong@zju.edu.cn

实现大型刚体六自由度的姿态调整,如图 1 所示,三坐标支撑机构 3 个运动轴均为电机驱动,电机选用美国 Danaher 传动公司生产的 Kellermorgen 伺服电机,电机驱动器为 CDServoStar 系列,采用基于 SynqNet 实时现场总线控制技术,运动控制卡采用 Motion Engineering 公司生产的 ZMP 高速运动控制卡,对控制网络上所有驱动器或者 I/O 模块以节点的方式进行控制,它能实现最多 32 个伺服电机轴的同步驱动管理以及逻辑运算功能。手轮脉冲信号作为数字量输入信号接入 I/O 模块,作为运动控制的驱动信号。整个控制系统的网络拓扑结构如图 2 所示。

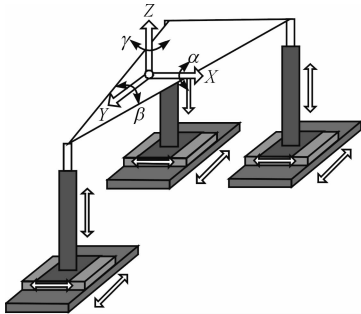


图 1 并联调姿系统模型

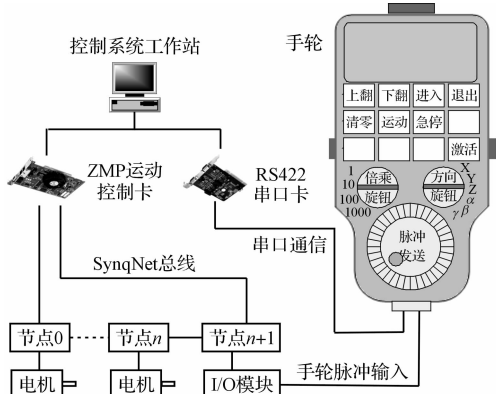


图 2 控制系统网络拓扑结构图

1.2 手持单元

本调姿平台采用 EUCHNER 公司生产的 086180 型号手持单元,模型如图 2 所示,它由 12 组按键及相应的 LED 灯、2 个 12 档位的旋钮、AB 相脉冲发生器以及脉冲使能开关组成。串口数据接口为 RS422A,传输协议依照 3964R 协议。根据手持单元所提供的开发协议可以实现如下功能:

- (1) 对按键及旋钮操作的消息响应及处理;
- (2) 存储文本信息并显示;
- (3) 手持单元状态查询(按键及旋钮);
- (4) LED 状态灯开关控制。

将以上功能与具体的工艺过程结合起来,将有效的提升调姿平台的人机交互性能,使操作者在工作现场即可灵活便捷的控制本调姿平台。

2 功能实现

2.1 手持单元与工作站之间的串口通信

本研究采用微软提供的 MsComm 控件建立串口通讯。为保证串口通信的实时性与效率,利用多线程的工作模式,在主线程中发送数据,在所创建的用户界面线程上插入 MsComm 控件来接收数据。一个用户界面线程对应一部手轮,通过这种模式,系统可以实现多部手轮的串行或者并行的工作模式。手持单元发送的数据格式有 4 种^[6-8],分别为握手协议信息、按键或旋转信息、确认信息以及手轮状态信息。针对不同数据格式,灵活配置 MsComm 控件的接收属性,确保接收数据的正确性与完整性。线程间通信利用时间驱动的方式。

通信协议为 3964R 协议,该协议是西门子公司为了确保 PLC 之间或 PLC 与其他设备之间点对点可靠通信时,由程序包自动的将其加在数据包中,保证数据传送的可靠性。控制字如下:

- STX:传送文本开始(02H);
- DLE:连接成功/数据传输无误(10H);
- ETX:传送文本结束(03H);
- BCC:校验和(根据计算而定);
- NAK:否定应答(15H)。

2.1.1 数据的接收

数据接收流程图如图 3 所示,当数据缓冲区有数据时,会发送一个消息,自动调用 OnComm() 函数,在该函数内按以下程序设计框图处理数据,其中,设置 STX 事件表示的是将 CEvent 类型的 STXEvent 置为触

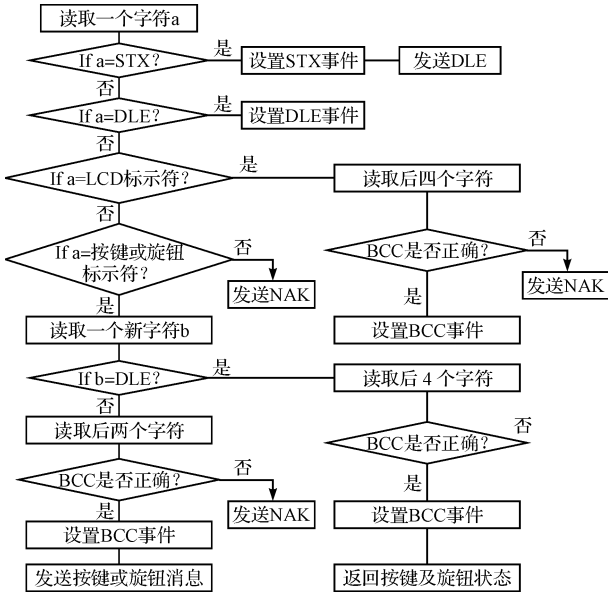


图 3 接收数据的 N-S 流程图

发状态,这样在用户界面线程中利用 WaitForSingleObject() 函数就可以检测到该事件已触发,从而实现这两个线程之间的同步。

从接收的数据中可以得出手持单元按键或旋钮状态的变动,以自定义消息的方式发送至程序的主框架中,程序便会自动调用按键或旋钮事件响应函数。

2.1.2 数据的发送

数据的发送是在主线程中进行,主要完成一些文本信息的定制以及手持单元状态信息的查询功能,具体流程框图如图 4 所示。

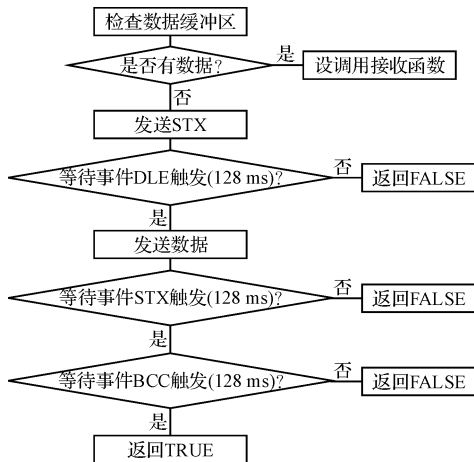


图 4 发送数据的 N-S 流程图

2.2 调姿实验平台运动控制的实现

在本调姿实验平台的手动控制模式中,根据工艺要求的不同,手轮功能有两种不同的驱动对象:①操作对象为现场设备,即驱动单个三坐标支撑机构沿其轴向运动;②操作对象为刚体,即协同控制所有轴实现刚体的位置姿态调整。具体的操作流程如图 5 所示。

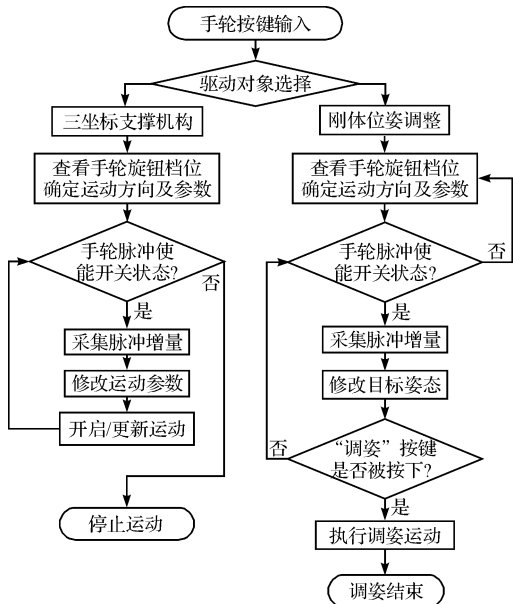


图 5 手轮功能操作流程

2.2.1 现场设备的运动控制

驱动单个三坐标支撑机构沿其轴向运动时,将单个采样周期内采集的脉冲增量转化为电机运动的速度值进行运动控制^[9]。考虑到操作者不能精确的控制每个采样周期内的脉冲增量,从而引起电机不必要的频繁加速与减速运动,本研究将采样周期内的脉冲增量最小值与最大值之间均匀划分为若干区间,每个区间内取其平均值。例如在本实验平台中,单个采样周期内脉冲增量范围为 $(-\max(n), \max(n))$, 将其均匀划分为 m 个区间,若采样脉冲数 n 落在某个区间,则处理后的采样脉冲增量 $f(n)$ 为该区间的某一特定值,通常选中间值。计算公式如下:

$$f(n) = \begin{cases} 0; & n = 0 \\ \frac{n}{|n|} \cdot \frac{\max(n)}{2m} + \left[\frac{n \cdot m}{\max(n)} \right] \cdot \frac{\max(n)}{m}; & |n| < \max(n) \\ \frac{n}{|n|} \cdot \max(n); & |n| \geq \max(n) \end{cases} \quad (1)$$

最大脉冲数 $\max(n)$ 根据采样时间及操作者的操作方式而定。

2.2.2 刚体姿态的运动控制

当驱动多轴同步协调运动时,需对各运动轴进行精确的位置控制,从而保证刚体的几何特性。否则三坐标支撑机构在运动过程中会出现对刚体的拉扯或者挤压的现象,这样就造成了调整精度的下降,甚至会损坏刚体。本系统采用了位置-时间的运动模式(position-time motion),简称 PT 运动,它是指将刚体从当前位姿到目标位姿的运动轨迹离散为若干点,并且确保两点之间的位姿变换的绝对值小于刚体的调姿精度。每个点就代表一个刚体的位姿,而刚体位姿对应着一组所有相关运动轴的运动位置,从前一点到后一点,每个运动轴的位置差除以各自的额定速度即可求出运动时间,取最大值作为这两点之间的时间差,即每个点也对应一个时间值。然后求出所有点上的时间值与所有相关运动轴的运动位置,并将这些数据传给运动控制卡,它就会精确控制各相关运动轴在每个时间点上运动到指定位置,从而完成刚体的姿态调整。

本研究选择从位姿 $\{A\}$ 到 位姿 $\{B\}$ 的转化过程进行分析。如图 1 所示,本研究采用姿态矢量 $v = [x, y, z, \alpha, \beta, \gamma]^T$ 表示刚体姿态,其中 (α, β, γ) 表示刚体的欧拉角,它实际上是表示刚体由当前姿态到理论姿态的一个变换序列。即:刚体先绕 X 轴旋转 α 角,再绕新的 Y 轴旋转 β 角,再绕新的 Z 轴旋转 γ 角,即得到了从姿态 $\{A\}$ 到姿态 $\{B\}$ 旋转矩阵:

$${}^A R_B(\alpha, \beta, \gamma) =$$

$$\begin{bmatrix} c\gamma c\beta & -s\gamma c\alpha + c\gamma s\beta s\alpha & s\gamma c\alpha + c\gamma s\beta s\alpha \\ s\gamma c\beta & c\gamma c\beta + s\gamma s\beta s\alpha & -c\gamma s\alpha + s\gamma s\beta c\alpha \\ -s\beta & c\beta s\alpha & c\beta c\alpha \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, c, s 分别是 $\cos$ 和 $\sin$ 的缩写。

利用坐标变换的知识,可求出姿态变换之后的位姿 $\{B\}$ 所对应的三坐标支撑机构位置如下:

$$P_i^B = {}^A P_B P_i^A + {}^A T_B \quad (3)$$

式中 P_i^B —三坐标支撑机构在刚体处于姿态 $\{B\}$ 的位置; P_i^A —三坐标支撑机构在刚体处于姿态 $\{A\}$ 的位置; ${}^A T_B$ —姿态从 $\{A\}$ 到 $\{B\}$ 的平移变换, ${}^A T_B = [x, y, z]^T$ 。

重复调用上述公式,即可求出所有离散点上的三坐标支撑机构各运动轴的位置信息。

3 验证与分析

3.1 单个定位器的运动控制

根据本手持单元上的“上翻”、“下翻”功能按键(如图2所示)操作光标行上下移动选择定位器(POGO),如图6(a)所示,通过“进入”按键选择查看当前光标行所在设备的位置信息,通过右边的方向选择旋钮选择要所要操作的轴向,如图6(b)所示,利用左边的倍乘旋钮选择脉冲倍乘参数,按下左右脉冲使能开关,即可实现设备单轴的操作。

SINGLE	POGO1	POGO2	POGO3	IDLE
POGO1	X 2500.386 mm	Y -1253.578 mm	Z 1890.205 mm	BUSY
POGO2				
POGO3				
IDLE				
(a) 选择	(b) 查看	(c) 实现		

图6 手轮界面显示示意图

为验证本调姿系统手轮模块功能的跟随特性,本研究作了如下实验。

在利用手持单元对三坐标支撑机构运动的速度控制中,操作者由慢到快发送脉冲,驱动单轴运动,并实时采集设备的实际速度与理论速度数据,绘制成速度曲线,如图7所示,从图中明显反映出单轴运动的跟随

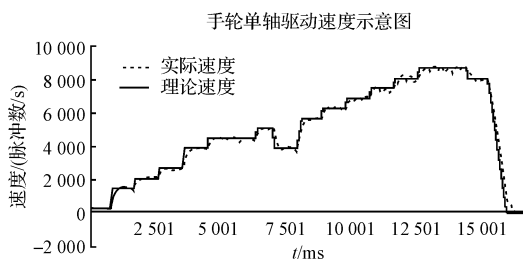


图7 手轮单轴驱动速度示意图

特性,并且速度值呈阶梯状变化,有效地避免了频繁的加减速运动。本实验的采样周期为 200 ms。

3.2 刚体的位置姿态控制

在调姿阶段,手轮界面如图6(c)所示,通过右边的方向选择旋钮选择要所要操作的运动方向,利用左边的倍乘旋钮选择脉冲倍乘参数,按下左右脉冲使能开关,即可发送脉冲设定在该方向所要运动的距离或旋转的角度,设定好之后,按下“运动”按键,即可实现刚体的位姿变化。进行刚体调姿时候的手轮界面截图如图8所示。



图8 刚体调姿手轮界面截图

4 结束语

本研究提出的大型刚体调姿实验平台手轮功能的实现方法,使得操作者在工作现场,通过一部手持操作单元,即可以便捷的实现对于实验平台中的所有三坐标支撑机构的轴向速度运动控制,又可以实现多定位器协同运动控制以完成刚体位姿调整。该手轮功能模块在大型刚体调姿实验平台系统已得到充分的验证与使用。具有很强的工程应用价值,并对并联机床的手轮功能开发也具有一定的指导意义。

参考文献(References):

- [1] 钟师胜,王 瑞,王知行. 新型并联数控铣床手轮模块功能的实现[J]. 机械设计,2006,23(5):25-28.
- [2] 钟英英,楼云江,徐 毅. 并联机构动力学建模及控制研究[J]. 机电工程,2009,26(4):5-8.
- [3] 金 灵,吴建勇,计时鸣,等. 并联机构动力学建模及控制策略的研究[J]. 机电工程,2006,23(9):30-31.
- [4] 刘 峰,王向军,许 洪,等. 四自由度并联跟踪台的软件关键技术[J]. 计算机工程,2009,35(7):30-33.
- [5] 胡 君,束永平. 刚体惯性参数的动态测试研究[J]. 机械,2009,36(3):7-10.
- [6] 赵海军,叶佩青. 手轮脉冲驱动均匀化控制[J]. 机床与液压,2003(1):117-118,47.
- [7] 欧阳才校,杨代华,姚应林. 基于 WinCE 的手轮驱动程序设计[J]. 机床与液压,2009(8):210-212.
- [8] 王盖红,陈志同. 基于 PMAC 的数控机床手轮功能的实现[J]. 机械工程师,2005(12):68-70.
- [9] 史爱峰,张生芳. 基于 PMAC 数控系统手轮脉冲跟随功能的实现[J]. 制造技术与机床,2004(10):42-45.

[编辑:柴福莉]