

四自由度并联跟踪台的软件关键技术

刘 峰, 王向军, 许 洪, 张召才

(天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072)

摘 要: 研究四自由度并联跟踪台中的软件关键技术, 编写 Matlab 仿真程序对并联跟踪台进行参数化设计, 利用 Solidworks 与 ADAMS 联合仿真软件获取并联跟踪台的运动学和动力学性能参数, 通过对操纵杆的编程实现对并联跟踪台的手动控制。实验结果表明, 四自由度并联跟踪台设计合理、运动灵活、手动效果好。

关键词: 并联跟踪台; Matlab 参数化仿真; 联合仿真; 手动控制

Key Software Technology of 4-Degree of Freedom Parallel Tracking Platform

LIU Feng, WANG Xiang-jun, XU Hong, ZHANG Zhao-cai

(National Laboratory of Precision Measurement Technology and Instruments, Tianjin University, Tianjin 300072)

【Abstract】 During the development of the 4-degree of freedom parallel tracking platform, the key software technology of which is studied. The following things are introduced: the method of compiling Matlab code to emulate parameterization of the parallel tracking platform, the method of using Solidworks and ADAMS software to get the kinematics & dynamics performance parameter of the parallel tracking platform and the method of programming on the biaxial joy stick to realize the manual control of the parallel tracking platform. Experimental result shows that the 4-degree of freedom parallel tracking platform is of proper design, flexible movement and well manual control property.

【Key words】 parallel tracking platform; parameterization emulation with Matlab; combination emulation; manual control

运动载体上对运动目标的跟踪技术^[1-2]要求目标跟踪台具备多个运动自由度以实现运动目标的跟踪。目前成熟的技术主要是利用跟踪转台与稳定平台配合使用或利用载体上的导航装置为跟踪转台提供实时修正信号以进行目标跟踪。而近年来并联技术的发展使无需辅助装置对运动目标进行多自由度跟踪的方案成为可能。本文以一个新型四自由度并联跟踪台为对象, 介绍其研制过程中的软件关键技术。

1 跟踪台构成及软件关键技术

四自由度并联跟踪台的构成及对应软件关键技术如图 1 所示。

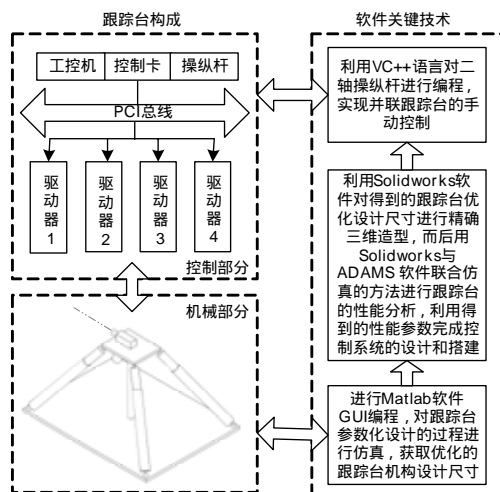


图 1 跟踪台构成及软件关键技术

整个跟踪台主要由机械部分和控制部分组成, 其中, 控制部分基于 PCI 总线的运动控制卡技术来实现; 机械部分采用具有 4 个驱动杆和 1 个约束分支结构特征的并联机构与底层转台配合来实现。跟踪台具备空间 4 个自由度, 可实现升降运动、俯仰运动、偏摆运动和方位旋转运动。

2 系统关键技术

2.1 Matlab 参数化仿真设计

由于现有的参数化设计方法需要重复进行三维造型, 设计效率较低, 因此, 基于 Matlab 软件 GUI 可视化编程技术本文提出一种通过 Matlab 编程实现并联机构参数化设计方法, 达到了对并联机构进行优化设计的目的。该方法在三维造型前可得到跟踪台的优化设计尺寸, 进行一次三维造型就可以进行后续的性能分析。

实验表明, 该方法使整个设计周期缩短近 50%。设计的过程是将并联跟踪台机构的参数化设计过程以可视化图形界面的方式表现出来^[3], 通过对机构设计尺寸的不断调整达到机构整体尺寸优化的目的。仿真程序的参数化仿真设计主界面如图 2 所示。

依据参数化设计原理, 参数化仿真设计程序采用模块化设计方法, 整个程序框架分成 4 个模块: 尺寸设定模块、姿态调整模块、运动显示模块和数据输出模块。

作者简介: 刘 峰(1978 -), 男, 博士, 主研方向: 计算机仿真, 人工智能; 王向军, 教授、博士、博士生导师; 许 洪、张召才, 博士

收稿日期: 2008-02-20 **E-mail:** tjuliufeng@tju.edu.cn

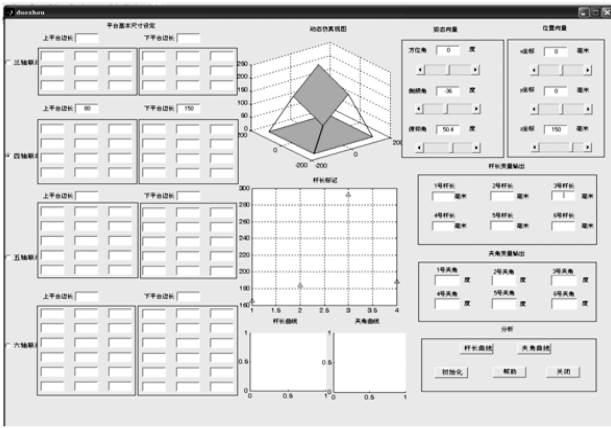


图2 参数化仿真主界面

以上述4个模块为核心,参数化设计的步骤为:

(1)初始尺寸设定:设定在尺寸设定模块内完成,须设定的基本尺寸主要包括动平台尺寸、定平台尺寸、动平台和定平台之间的距离等。

(2)动平台位姿调整:该步骤在姿态调整模块内进行,通过调整位置和姿态滑块位置的变化,对并联跟踪台动平台的位置和姿态进行同步调整,调整后跟踪台的运动效果会在运动显示模块内进行实时更新显示。

(3)获取优化的设计尺寸:在步骤(2)中不断调整动平台的位置和姿态,在数据输出模块内对并联跟踪台的驱动杆杆长值和摆角值进行实时解算,当跟踪台的运动位形和驱动杆的行程均满足要求时,对此刻的初始设定尺寸进行统计并输出。

整个参数化设计仿真程序框架如图3所示。

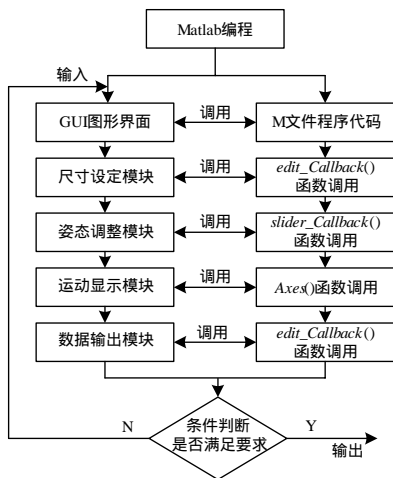


图3 Matlab 程序框架

上述几个步骤操作完成后,可以得到跟踪台机构的基本设计尺寸和驱动杆的最大行程,前者是进行零部件的三维造型和零部件加工的依据,后者是步进电机选型时的直线行程参考。

2.2 运动学和动力学仿真分析

负责提供并联跟踪台运动学性能参数和动力学性能参数,作为并联跟踪台控制系统中所需运动控制卡、驱动器和步进电机选型的重要依据。运动学和动力学仿真分析在Solidworks和ADAMS软件的联合仿真平台下进行^[4-5]。

经过上述 Matlab 优化设计之后,就得到了跟踪台优化的设计尺寸,利用这些尺寸,用 Solidworks 软件进行精确三维造型,再利用 Solidworks 和 ADAMS 之间的无缝连接文件格

式。Parasolid 将构建的三维模型导入到 ADAMS 环境下进行运动学和动力学仿真,获取仿真性能参数。详细的仿真分析流程如图4所示。

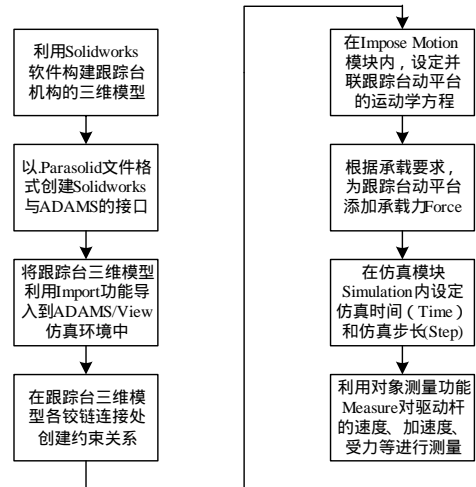


图4 联合仿真流程

其中,运动方程的设定是整个性能分析的关键环节,要求并联跟踪台按照运动方程设定的轨迹运动时,应能满足实际对运动目标跟踪的要求。因此,根据实际须达到的跟踪性能参数对跟踪台的运动方程进行设定,而且设定值应略大于实际要求值。经过运动学和动力学仿真后,得到了一系列反映跟踪台运动性能的参数,能为后续运动控制系统的搭建提供理论依据。

2.3 基于 VC++ 的手动控制设计

并联跟踪台的控制包括自动控制和手动控制2种方式,其中,对自动控制的理论和技术的研究较为成熟,而对其手动控制的研究还局限于通过手摇轮的方法来实现,因为通过手动控制来实现并联跟踪台各驱动杆的协同运动难度较大。为解决上述问题,在已实现四自由度并联跟踪台自动控制的基础上,本文提出一种利用二维操纵杆进行手动介入控制的方法,与一维的手摇轮控制方法相比,控制更直观、容易、人机交互性好。

2.3.1 硬件结构

手动控制系统由二轴操纵杆、工控机、四轴运动控制卡、驱动器和步进电机组成。操纵杆选用具有 AB 相脉冲输出功能的二轴操纵杆,控制卡采用具备四轴插补运动功能的 PCI 四轴运动控制卡。操纵杆与控制卡通过 I/O 接口连接,驱动器一端通过公共端、脉冲和方向 I/O 接口与控制卡对应控制端口连接,另一端与对应步进电机相连,各步进电机分别控制对应的跟踪台驱动杆。这种连接方式下,驱动器即可获取来自控制卡内部发送的自动控制信号,也可通过控制卡获取能实现跟踪台手动控制的外部控制信号,即手动控制信号。因此,采用该种硬件结构即能使四自由度并联跟踪台实现自动控制,也可以实现手动控制。

2.3.2 位置控制模型

手动控制是通过对操纵杆的编程来实现对并联跟踪台动平台位置和姿态的实时控制。控制要求操纵杆的前后摆动对应四自由度并联跟踪台的俯仰运动,操纵杆的左右摆动对应并联跟踪台的偏摆运动,其中俯仰运动或偏摆运动可理解为独立运动,因此,除了上述进行前后、左右摆动的情况以外,操纵杆其他角度的摆动则对应了并联跟踪台由俯仰运动

和偏摆运动所构成的合成运动。在本系统中，位置控制模型的建立是整个手控过程当中的关键环节，负责将操纵杆的触发脉冲信号转换成对步进电机的控制指令信号，而且要求控制指令信号能够实现对4个步进电机的同步和协同控制，这样才能最终实现并联跟踪台动平台的连续空间运动。依据操纵杆摆动产生的并联跟踪台独立运动和合成运动方式的不同，位置控制模型也有所不同。其中，独立运动采用平面运动位置控制模型(平面模型)，合成运动则采用空间运动位置控制模型(空间模型)。

(1)平面模型

操纵杆在独立运动情况下，操纵杆触发一路脉冲信号给运动控制卡，对控制卡的编程可将这一路脉冲信号转换为2个驱动杆的伸长量(独立运动时，驱动杆伸缩长度两两相同)，将其带入梯形的几何变换关系计算后，可得到另外2个驱动杆的伸长量，4个驱动杆的伸长量转换成脉冲信号后经四轴插补函数调用，即可发送4路控制指令信号实现4个步进电机的协同动作。

(2)空间模型

在合成运动情况下，操纵杆会触发2路脉冲信号给控制卡，2路信号均可利用(1)中的梯形几何关系得到俯仰角和偏摆角，将2个角度带入并联机构位置逆解模型^[6-7]中进行解算，可得到4个驱动杆的伸长量，转换成4路脉冲信号后经四轴插补函数调用，可发送4路运动控制指令信号用于4个电机的同步、协同控制。

2.3.3 程序设计实现

手动控制的程序设计是通过对操纵杆的编程来实现，编程采用VC++语言，设计流程如图5所示。

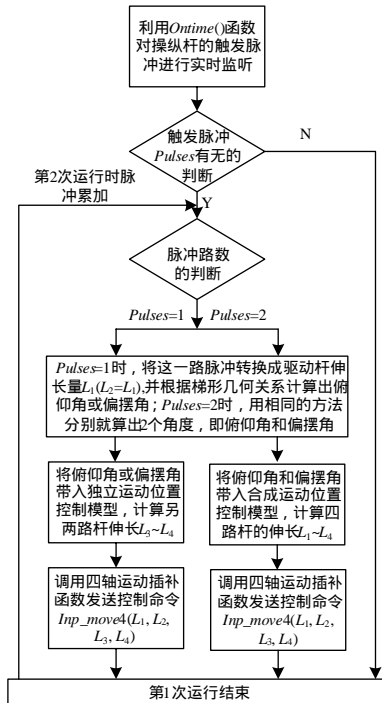


图5 程序设计流程

首先在 SetTimer()函数内部设定时间间隔,本手控系统设置的时间间隔为20ms,对于操作者来说,该时间间隔基本

感觉不出来,而且满足控制连续性的要求。然后将驱动杆脉冲监听函数置于 OnTime()函数内部,对操纵杆的手动触发信号进行实时监听和存储,根据实现的运动方式进行控制模型判定和选择,最后依据控制模型将操纵杆触发脉冲转换成运动控制指令,该控制指令被运动控制函数调用后控制步进电机进行运动,从而完成各驱动杆的同步伸缩动作。

3 实验与分析

为验证四自由度并联跟踪台设计的合理性,对四自由度并联跟踪台进行了自动控制往复运动实验和手动控制往复运动实验。其中,自动控制俯仰与升降合成运动和手动操纵杆控制运动的实验场景照片如图6所示。

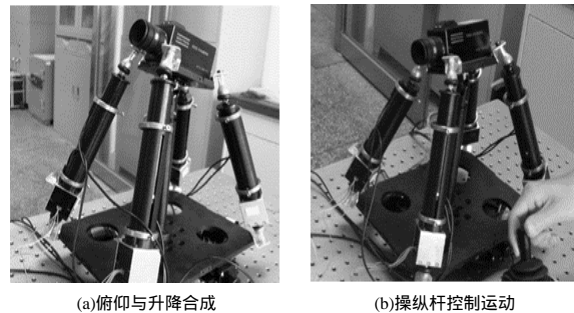


图6 跟踪台运动控制实验场景

在实验中,四自由度并联跟踪台能够灵活自如地完成四自由度空间运动,不存在干涉和超定位问题,而且手动控制的交互性、实时性较好。

4 结束语

在四自由度并联跟踪台的研制过程中,本文提出采用 Matlab 编程对并联跟踪台参数化设计过程进行仿真的方法,节省了重复三维造型所花费的时间,缩短了设计周期,而且便于二次开发;在控制方面,采用二轴操纵杆对四自由度并联跟踪台进行手动控制的方法,完成了对操纵杆的编程,不但实现了手动对跟踪台的协调控制,而且能使跟踪台的运动与人手的动作一一对应,实验结果表明,该方法控制简单、交互性好。

参考文献

- [1] 刘皓挺, 杨健群, 徐凤刚. 基于运动与区域信息的移动机器人目标检测[J]. 计算机工程, 2007, 33(21): 205-206, 209.
- [2] Burge M, Burger W. Biometrics: Personal Identification in a Networked Society[M]. Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999.
- [3] 佟志忠, 姜洪洲, 韩俊伟. 基于六自由度并联机器人的运动仿真可视化系统[J]. 计算机应用, 2005, 25(12): 269-271.
- [4] 叶修梓, 陈超祥. SolidWorks 高级教程: 高级装配[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
- [5] 范成建, 熊光明, 周明飞. 虚拟样机软件 MSC.ADAMS 应用与提高[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [6] 月芳芳, 英晓平, 赵 曩. 机器人逆运动学求解的可视化算法[J]. 计算机工程, 2006, 32(14): 193-195.
- [7] 黄 真, 孔令富, 方跃法. 并联跟踪台机构学理论及控制[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.