

基于Pro/E与Simulink的Delta并联 机器人运动仿真

胡 峰, 骆德渊, 段栋栋, 付书阁

(电子科技大学 机械电子工程学院, 四川 成都 611731)

摘要: 针对“三自由度并联机器人的运动空间比传统六自由度并联机器人受到更多约束, 以及其运动特性也更加复杂”的问题, 将可视化运动仿真分析技术应用到并联机器人的研究上。以三自由度Delta并联机器人为例, 在复杂轨迹下其整体位姿难以直观想象; 为了便捷、高效地实现Delta并联机器人可视化运动仿真分析, 结合SimMechanics Link接口软件, 以Pro/E与Simulink/SimMechanics为仿真开发平台, 提出了采用三维模型转换成SimMechanics模型的建模方法, 并建立了SimMechanics模型, 进行了仿真。研究结果表明, 该方法能够直观地对Delta并联机器人进行可视化运动仿真分析, 进而可为并联机器人机构的选型及优化、控制器的设计提供参考依据。

关键词: Delta并联机器人; Pro/E; Simulink; SimMechanics; 运动学仿真

中图分类号: TP242; TP391.1; TH113.2¹

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)08-0982-03

Kinematics simulation of Delta parallel robot based on Pro/E and Simulink

HU Feng, LUO De-yuan, DUAN Dong-dong, FU Shu-ge

(School of Mechatronics Engineering, University of Electronic Science and Technology of
China, Chengdu 611731, China)

Abstract: Aiming at the problem that the motion of 3DOF parallel robot bears more constraints, compared to the traditional 6DOF parallel robot, the technology of visual kinematics simulation was investigated on 3DOF parallel robot. Taking 3DOF Delta parallel robot for example, it is hard to image its motion gesture directly, when it traces a complex track. In order to conveniently and rapidly achieve visual kinematics simulation of Delta parallel robot, combining with SimMechanics link, the method of modeling which translates CAD assemblies into SimMechanics model based on Pro/E and Simulink/SimMechanics was presented, the modeling of SimMechanics was established, and simulation of it was done. The experimental results show that it can directly get the kinetic characteristic of the Delta parallel robot and provide the reference parameters of the design.

Key words: Delta parallel robot; Pro/E; Simulink; SimMechanics; kinematics simulation

0 引 言

并联机器人作为一类全新的机器人, 它具有刚度大、承载能力强、误差小、精度高、自重负荷比小、动力性能好、控制容易等一系列优点, 有广阔的发展前景^[1-2]。而Delta机器人作为一种典型的三自由度移动高速并联机器人, 现已成为迄今商业应用最成功的并联机

器人之一。目前, Delta并联机器人已广泛应用于化妆品、食品、药品的包装和电子产品的装配。

在研究并联机器人的过程中, 对其进行运动仿真是一个必不可少的环节。它能够在设计时预测机构的性能并进行优化, 及时地发现产品中不合理的、甚至是错误的设计, 有效地提高设计效率和质量。运动仿真对于验证机器人组成、工作空间及进行轨迹规

收稿日期: 2012-02-16

作者简介: 胡 峰(1988-), 男, 湖北武汉人, 主要从事并联机器人及运动控制方面的研究。E-mail: hu_feng150@163.com

通信联系人: 骆德渊, 男, 副教授, 硕士生导师。E-mail: luodeyuan@163.com

划、控制算法等都具有重要的意义^[3]。

Pro/E是美国PTC公司开发的一款优秀的三维设计软件。其强大的设计功能使其成为车辆、船舶以及航空航天等领域的主流CAD软件。Matlab作为一款优秀的计算和仿真软件,在机器人技术中得到了广泛的应用,其Simulink环境提供了机械系统建模和仿真的专用工具箱—SimMechanics,为多体动力机械系统及其控制系统提供了直观有效的建模分析手段,具有直观、简便的优点。

由于三自由度Delta并联机器人的自身特点,相比传统的六自由度并联机器人,其运动空间受到更多的约束,运动学分析也更加复杂^[4]。因此,本研究提出运用SimMechanics Link接口软件^[5],建立基于Pro/E与Simulink/SimMechanics的Delta并联机器人模型,从而进行可视化的运动仿真分析。

1 Delta 结构简介

Delta机器人主要由静平台、动平台、3个主动臂、3个从动臂组成,其结构简图如图1所示。静平台通过3条对称分布的运动链分别连接到动平台上,每条运动链中有一个由4个球面副和杆件组成的平行四边形闭环,该闭环再与一个带转动副的主动臂相串联。主动臂在电机的驱动下作一定角度的反复摆动^[6-7]。这3条运动链保证了动平台只能有3个方向的平动自由度。

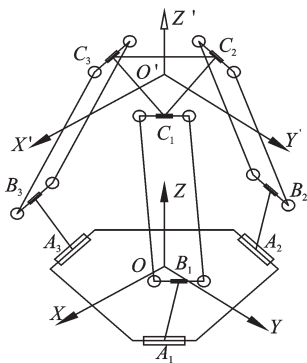


图1 Delta机器人结构简图

如图1所示,静平台以 O 为中心,即静平台半径 $R=|OA_i|$,其中 $i=1,2,3$;动平台以 O' 为中心,即动平台半径 $r=|O'C_i|$;主动臂长为 $L_a=|A_iB_i|$;从动臂长为 $L_b=|B_iC_i|$ 。

2 Delta 仿真模型建立

2.1 基于Pro/E三维模型建立

Pro/E是现今主流的CAD/CAM/CAE软件之一,特别是在参数化三维造型方面功能十分强大。利用Pro/E的参数化设计和实体造型技术,可以快速实现Delta并联机器人各组成零件的建模及装配,并得到一个完美

的可视化效果。

本研究设Delta机器人机构尺寸参数分别为 $R=150\text{ mm}$, $r=50\text{ mm}$, $L_a=300\text{ mm}$, $L_b=800\text{ mm}$, 所建立的Delta并联机器人三维实体模型如图2所示。

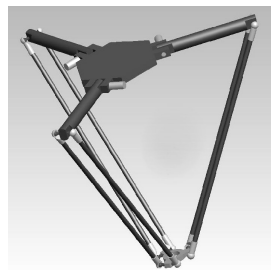


图2 Delta机器人三维实体模型

2.2 基于SimMechanics模型建立

SimMechanics工具箱为用户提供了刚体、关节、约束和驱动、传感器和驱动器等机构模块,能够对各种运动副连接的多刚体机构进行建模与仿真,实现对机构系统动态性能的分析。研究者使用SimMechanics做运动学仿真,不需要推导传动机构的运动学模型,直接使用相关模块就可以构建图示化仿真模型^[8],十分直观,对复杂机构更有效。

SimMechanics还可以连接Simulink环境下的控制系统模型,提供机电一体化机械机构建模与仿真的有效环境。SimMechanics为Delta并联机器人模型的构建和进一步研究带来了很大的方便。

2.2.1 模型转换

本研究在Pro/E软件里安装SimMechanics Link接口插件,然后通过该插件,将Delta三维实体模型输出为xml文件。在Matlab命令窗口中通过“mech_import(DeltaRobot.xml)”命令将xml文件转换成mdl文件,即生成SimMechanics模型。SimMechanics模型中所有模块的属性均根据三维模型自动设定,如系统坐标、刚体模块的位置属性等等。本研究为3个主动臂转动副分别添加运动副驱动模块后,采用Simulink子系统封装技术,所得到的Delta并联机器人结构模型如图3所示。

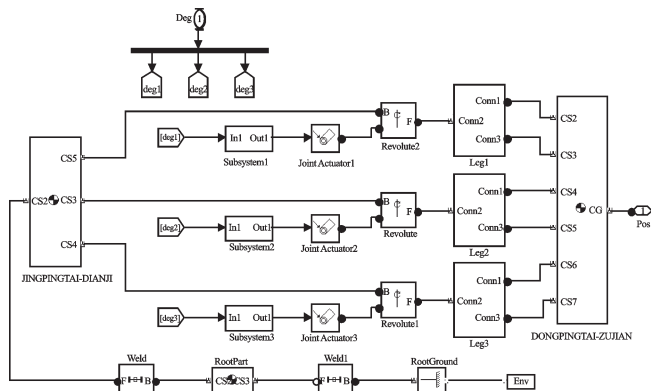


图3 Delta并联机器人结构模型

2.2.2 Delta 运动学模型

并联机器人运动学问题的求解,就是求解并联机器人关节坐标和末端执行器坐标之间的函数对应关系。根据求解方向的不同,并联机器人运动学问题可以分为两个子问题:正向运动学问题和反向运动学问题^[9]。

正向运动学问题是指在并联机器人关节坐标已知的情况下求解所对应的末端执行器坐标。反向运动学问题是指在并联机器人末端执行器坐标已知的情况下求解所对应的关节坐标。不同机构的正反运动学模型的求解复杂程度不同,如并联机构建立反向运动学模型相对容易,而建立正向运动学模型的难度很大,对于这种情况可以发挥实体建模的优点,通过机构的实体建模解决正向运动学问题^[10]。

本研究根据Delta并联机器人的反向运动学方程编写S函数,在SimMechanics仿真模型中通过运动学逆解模块调用为3个主动臂转动副添加检测模块,动平台添加刚体检测模块以及一些便于后期数据处理的辅助模块,采用Simulink子系统封装技术后最终得到的Delta并联机器人运动仿真模型如图4所示。

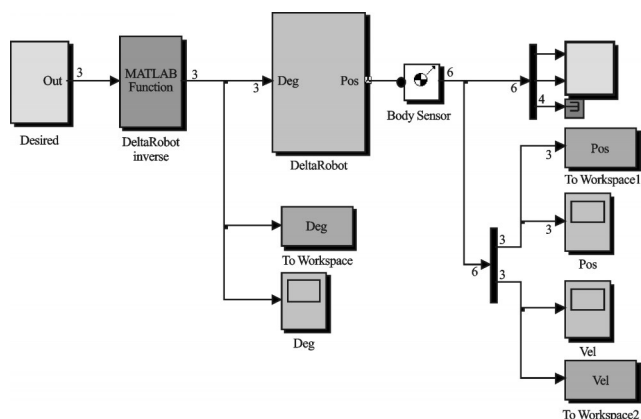


图4 Delta并联机器人运动仿真模型

3 仿真结果分析

研究者根据已建立的Delta并联机器人的SimMechanics模型可以很直观地进行运动学仿真。给定动平台中心随时间变化的轨迹后,本研究就可以得出主动臂的运动参数。给定期望的动平台中心运动轨迹为圆柱螺旋曲线,其随时间变化的轨迹方程如下:

$$\begin{cases} x = 250 \cos(\pi t) \\ y = 250 \sin(\pi t) \\ z = 25t - 700 \end{cases}$$

轨迹曲线如图5所示,在SimMechanics中进行仿真,即可得到动平台中心沿轨迹运动时对应的3个主动臂的转角大小如图6所示,角速度大小如图7所示。

在仿真实验过程中,可以在Simulink环境下实时显示Delta并联机器人整体的运动动画。研究者通过

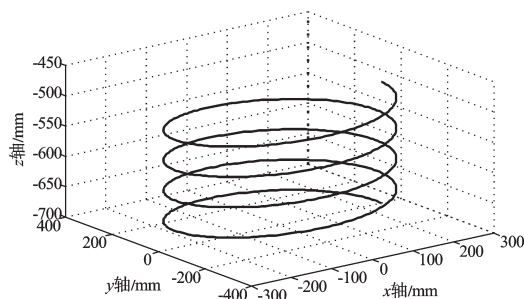


图5 动平台中心期望轨迹

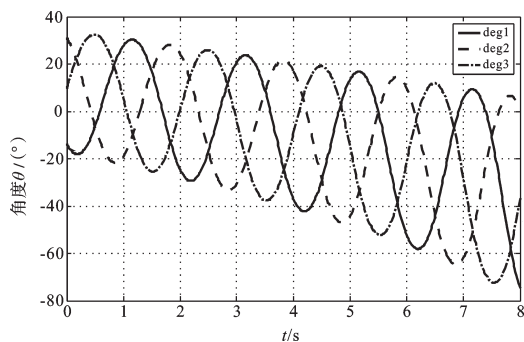


图6 主动臂转动副转角

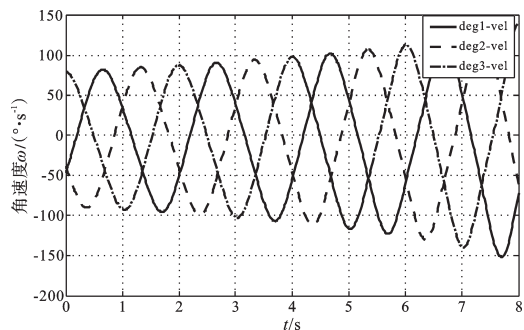


图7 主动臂转动副角速度

动画演示,可以逼真地观察到并联机器人动平台的位姿变化。如果研究者设计其他轨迹,则只需要替换期望轨迹规划子模块即可,十分便捷。

4 结束语

实验表明:“利用Pro/E建立三维实体模型,再通过SimMechanics Link接口软件将三维模型转换成SimMechanics模型”的建模方法高效快捷。通过采用该建模方法,设计人员可以避免复杂的并联机器人运动学模型的数学推导,轻松地完成可视化的运动仿真分析。另外,由于其对虚拟现实技术的支持,在仿真过程中能实时地观察机器人的位姿变化,可以得到许多试验中难以得到的数据,提高了工作效率,为下一步并联机器人的机构选型和控制器设计提供了直观的参考依据。

本研究为实现复杂机电一体化系统在统一Simulink/SimMechanics平台下的可视化运动仿真提供了一条便捷、高效的途径。

(下转第992页)

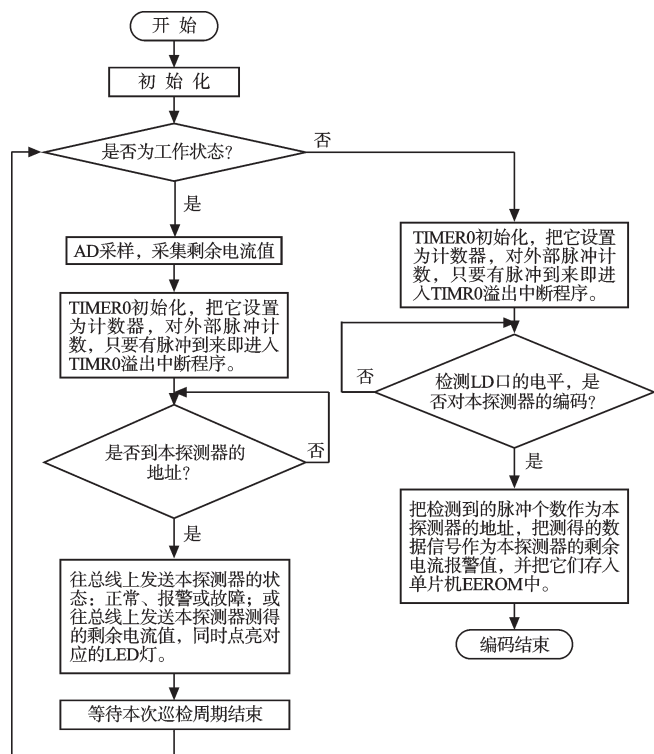


图6 软件流程图

4 结束语

本研究设计的非独立式剩余电流式电气火灾探测器已在实践中证明是切实可行的，且市面上已经有类似的电气火灾监控系统投入运行。基于这种探测器的电气火灾监控系统具有分工明确、结构简单、成本少、故障率偏低等优点，此种类型产品无论是在新工程还是改造工程上使用，都比较方便，是今后电气

火灾监控系统产品的主要发展方向。但是，二总线传输模式用于电气火灾监控系统时还存在很多的问题，如它的传输距离只有1 500 m，再远则需增加设备，而且二总线上所能传输的数据太少。这些问题都需要在接下来的研究工作中继续探讨。

参考文献(References):

- [1] 国家标准化工作委员会. GB/T 14287-2005 中国标准化书号[S]. 北京:中国标准出版社,2005.
- [2] 单夫来,孙峻岭. 基于两总线的电气火灾监控系统的设计[J]. 消防技术与产品信息,2009(10):29-31.
- [3] 胡少英. 电气火灾监控系统产品的发展现状探讨[J]. 电气&智能建筑,2011(2):20-22.
- [4] 李加升. 漏电火灾监控探测器设计[J]. 电工电气,2009(5):12-16.
- [5] 阳宪惠. 现场总线技术及其应用[M]. 2版. 北京:清华大学出版社,2008.
- [6] 仲兆峰. 智能型剩余电流式电气火灾监控探测器设计[J]. 自动化技术与应用,2010,29(11):30-34.
- [7] 童诗白,华成英. 模拟电子技术基础[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [8] 沈建伟. 基于单片机实现漏电检测方法的研究[J]. 研究与探索,2010(10):173.
- [9] 刘洪英,史小军. 带中断输出的实用峰值检波电路设计[J]. 电子器件,2003,26(1):104-106.
- [10] 张永立,沈天健. 基于PIC16F676单片机的点型光电感烟探测器设计[J]. 国外电子元器件,2005(4):12-16.
- [11] 胡君健,谢启源,袁宏永,等. 复合与智能火灾探测技术展望[J]. 消防科学与技术,2010(5):51-55.

[编辑:李 辉]

(上接第984页)

参考文献(References):

- [1] 陈学生,陈在礼,孔民秀. 并联机器人研究的进展与现状[J]. 机器人,2002,24(5):464-470.
- [2] 冯志友,李永刚,张 策,等. 并联机器人机构运动与动力分析研究现状及展望[J]. 中国机械工程,2006,17(9):979-984.
- [3] 周 正,吴昌林,陶卫军,等. 基于OpenGL的三自由度并联机器人三维运动仿真系统[J]. 机床与液压,2004(1):63-74.
- [4] 杨斌久,蔡光起,罗继曼,等. 少自由度并联机器人的研究现状[J]. 机床与液压,2006(5):202-205.
- [5] 张 镭,丛大成,姜洪洲,等. 一种基于SimMechanics CAD转换器生成虚拟样机的方法[J]. 系统仿真学报,2007,19

(20):4699-4703.

- [6] CLAVEL R. Delta, a Fast Robot with Parallel Geometry[C]//Proceedings of 18th International Symposium on Industrial Robots. Sydney, Australia: [s.n.]1988:91-100.
- [7] 梁香宁,牛志刚. 三自由度Delta 并联机器人运动学分析及工作空间求解[J]. 太原理工大学学报,2008,39(1):93-96.
- [8] 张立勋,赵豫玉,韩雪峰. 穿戴式下肢康复机器人的运动学仿真分析[J]. 应用科技,2008,35(12):43-46.
- [9] 从 爽,尚伟伟. 并联机器人:建模、控制优化与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2010.
- [10] 张立勋. 机电系统建模与仿真[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2009.

[编辑:李 辉]