第30卷 第2期 南京理工大学学报 Vol.30 No.2
2006年4月 Journal of Nanjing University of Science and Technology Apr. 2006

液压并联机器人的键图建模

赵 强[1],李洪人[2]

(1.东北林业大学 交通运输学院,黑龙江 哈尔滨 150040;2.哈尔滨工业大学 机电学院,黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要:键图是一种能够统一处理多能量范畴工程系统的有效方法,该文针对液压驱动并联机器人提出了一种新颖的全系统键图仿真模型。基于牛顿-欧拉法建立运动平台的键图模型,根据伺服阀和液压缸的流量方程及力平衡方程建立阀控缸作动器的键图模型,按照因果关系规则将二者集成为全系统的键图模型。实例仿真表明该模型较真实地反映了系统的动态特性,可用于液压并联机器人的动力学分析和控制系统设计。

关键词:并联机器人;仿真;键图;牛顿-欧拉法

中图分类号:TH 112 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-9830(2006)02-0203-06

Modeling of Hydraulic Parallel Robot Using Bond Graph

ZHAO Qiang[1], LI Hong-ren[2]

(1. School of Traffic Transportation Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China;
2. School of Mechanical Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: Bond graph is an effective unified approach to treat the engineering system with multiple energy domains. A novel bond graph model is presented for hydraulically driven parallel robot. The model for the motion platform is established based on Newton-Euler method. According to the servo valve and the cylinder's flow equations and the dynamic equilibrium equation, the hydraulic actuator model is also established. The above models' integration under causal relation rule forms the whole-system model of the parallel robot. The simulation shows that this model reflects the real behavior of the parallel robot. It can be used in the dynamical analysis and control system design of parallel robots.

Key words: parallel robot; simulation; bond graph; Newton-Euler method

液压并联机器人采用Stewart平台机构(见图1)。它由平台、底座及6个液压缸通过虎克铰连接而成,其机构动力学模型为一组二阶时变非线性微分方程,驱动机构运动的各阀控缸是三阶位置伺服系统,存在着许多非线性特性,如伺服阀流量非线性、液压缸两腔时变液容特性等,因此采用方块图或列写状态方程等方法建立包括液压驱动在内的系统整体模型比较复杂且容易出错,而

收稿日期:2004-09-27 **修回日期**:2006-01-14

作者简介:赵强(1971-),男,黑龙江富锦人,副教授,博士,主要研究方向:机械动力学及控制,E-mail: account@hit.edu.cn。

万方数据

键图是多能域系统建模的有效方法[1,2]，它采用图形表达，物理意义明确。借助键图来描述并联机器人这种机电液强耦合的复杂系统具有很多优点，但未见有相关的研究，本文首次尝试采用键图建立全系统的模型。目前在多体系统键图建模方面常用的方法有牛顿－欧拉法及拉格朗日乘子法等[3-5]，本文将基于牛顿－欧拉法建立平台的模型，然后再和阀控缸的模型整合起来形成整个系统的模型。

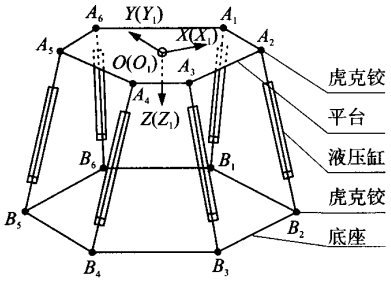


图1 液压并联机器人示意图

1 运动平台的模型

首先建立带有2个铰链连接点的刚体键图模型，然后扩充为带有6个铰链点的平台模型。

设一个空间运动刚体 R_b 如图2所示。此刚体和另外2个刚体通过铰链 i 和 j 连接，P_i 和 P_j 为相应铰链点，$\boldsymbol{r}_i$ 和 $\boldsymbol{r}_j$ 为对应矢径。建立2个坐标系：静参考系 O-XYZ 和刚体的连体系 O_1-$X_1Y_1Z_1$，连体系原点位于 R_b 的质心处，坐标轴和惯性主轴重合。

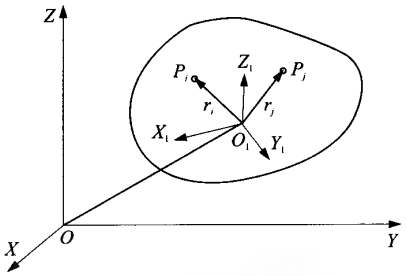


图2 空间运动刚体示意图

在静参考系中列写 R_b 的牛顿方程

$$m\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{v}=\boldsymbol{F}_i+\boldsymbol{F}_j+\boldsymbol{G} \tag{1}$$

式中：m 为 R_b 的质量，$\boldsymbol{v}$ 为 R_b 的速度，$\boldsymbol{F}_i$ 和 $\boldsymbol{F}_j$ 分别为铰链 i、j 对 R_b 的作用力，$\boldsymbol{G}$ 为重力。

在连体系中列写对质心的欧拉方程

$$\boldsymbol{I}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{\omega}+\boldsymbol{\omega}\times\boldsymbol{H}=\boldsymbol{r}_i\times\boldsymbol{F}_i'+\boldsymbol{r}_j\times\boldsymbol{F}_j'+\boldsymbol{T}_i+\boldsymbol{T}_j \tag{2}$$

式中：$\boldsymbol{H}$ 和 $\boldsymbol{I}$ 分别为 R_b 对其质心角动量和惯量，$\boldsymbol{\omega}$ 为 R_b 的角速度，$\boldsymbol{T}_i$ 和 $\boldsymbol{T}_j$ 分别铰链 i、j 作用于 R_b 的扭矩。$\boldsymbol{F}_i'$ 和 $\boldsymbol{F}_j'$ 为 $\boldsymbol{F}_i$ 和 $\boldsymbol{F}_j$ 变换到连体系后的矢量。式(2)中的 $\boldsymbol{H}$ 可表达成分量形式

$$\boldsymbol{H}=\begin{bmatrix}H_x\\H_y\\H_z\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}I_{xx}&0&0\\0&I_{yy}&0\\0&0&I_{zz}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\omega_x\\\omega_y\\\omega_z\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}I_{xx}\omega_x\\I_{yy}\omega_y\\I_{zz}\omega_z\end{bmatrix} \tag{3}$$

根据式(1)－(3)建立 R_b 的键图模型如图3所示，该模型共4组输入：左侧上部3个输入键(的势变量)为铰链 i 对 R_b 的作用力；左侧下部3个输入键(的势变量)为铰链 i 对 R_b 的扭矩。相应地，右侧2组输入分别为铰链 j 对 R_b 的作用力和扭矩。

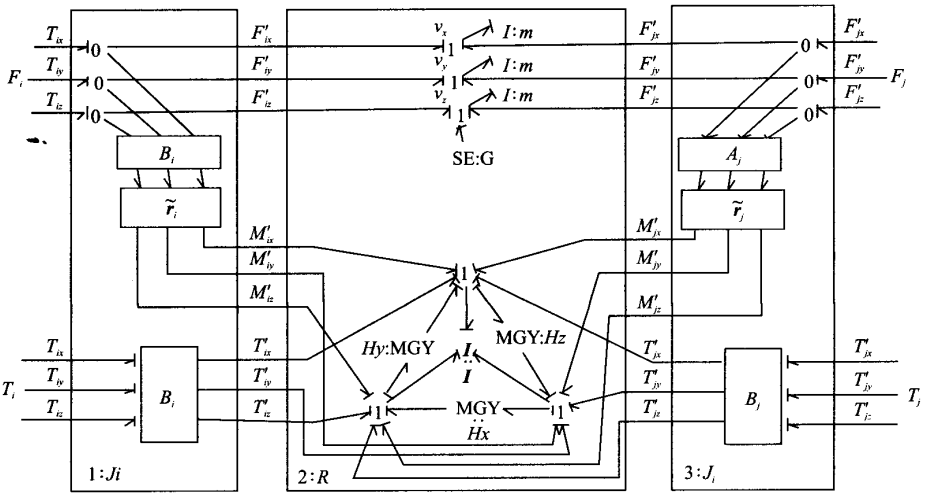


图3 空间刚体键图模型

万方数据

图 3 按虚线分为 3 部分：J_i、R 和 J_j，其中 R 的上部为牛顿方程，下部为欧拉方程，且上部 3 个 1 - 结的流变量表示 R_b 在静系中的平动速度，下部 3 个 1 - 结表示 R_b 在连体系中的角速度；J_i 是用于连接铰链 i 的接口部分，包括 3 个 0 - 结、子模块 A_i、$\tilde{\boldsymbol{r}}_i$ 和 B_i，A_i 用于将静系中的力转换到连体系中，它的实现参见图 4，图中各 $r_{ij}(i,j=1,2,3)$ 均表示调制变换器 MTF，其调节信号（变换比）相应等于平台姿态变换矩阵中的元素。$\tilde{\boldsymbol{r}}_i$ 为反对称矩阵，用于将叉积（式(2)中的 $\boldsymbol{r}_i \times \boldsymbol{F}_i'$ 项）转化为矩阵乘积形式，它的实现参见图 5，图 5 中 x、y、z 均为 MTF，它们的调节信号分别等于 $\boldsymbol{r}_i$ 的 3 个分量。B_i 模块用于把角速度从静系变换到 R_b 的连体系中。J_j 模块各部分的意义类似于 J_i。

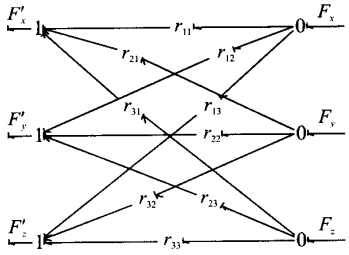


图 4　坐标变换的键图模型

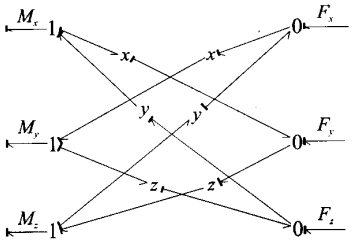


图 5　矢量叉积的键图模型

将图 3 中的模型重新改作模块组合的形式，如图 6 所示。

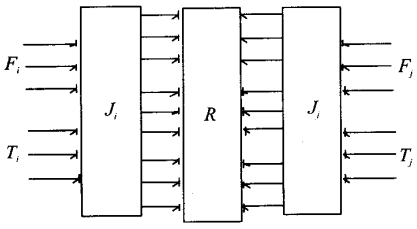


图 6　用子模型表示的刚体模型

将图 6 中的模型扩充为带 6 个铰链接口的平台模型，如图 7 所示。图 7 中 $\boldsymbol{F}_1,\boldsymbol{F}_2,\cdots,\boldsymbol{F}_6$ 为各液压缸对平台的驱动力。考虑到所研究平台和负载的总质量远大于液压缸的质量，可以忽略液压缸的质量，所以上述各力都沿着各缸轴线方向。由于上铰采用虎克铰，且缸筒和活塞之间可以相对转动，平台相对液压缸有 3 个转动自由度。如果忽略虎克铰的转动摩擦及缸筒与活塞杆之间的转动摩擦，可近似认为液压缸对平台无扭矩作用，因此，在由图 6 扩充为图 7 时，图 6 中表示扭矩的键可以略去。这样图 7 中 $J_1,J_2,\cdots,J_6$ 的输入端口只包含表示作用力的 3 个键。图 7 中 R 即为图 6 中的 R，这里改画成六边形。

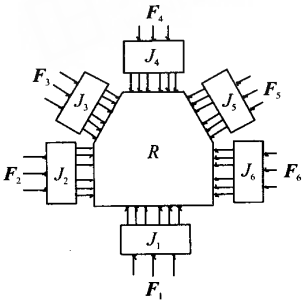


图 7　平台的键图模型

2　阀控缸系统的模型

图 7 中的 $\boldsymbol{F}_1,\boldsymbol{F}_2,\cdots,\boldsymbol{F}_6$ 由液压缸提供，阀控缸动力机构参见图 8。阀控缸位置伺服系统的结构参见图 9。

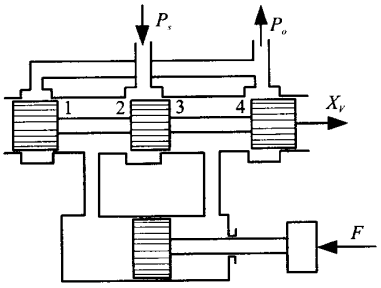


图 8　阀控缸动力机构示意图

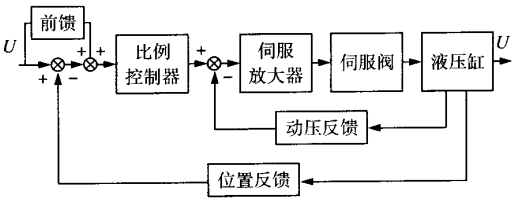


图 9　阀控缸位置伺服系统示意图

根据伺服阀和液压缸的流量方程及力平衡方程建立阀控缸系统的模型如图 10 所示[2]。

万方数据

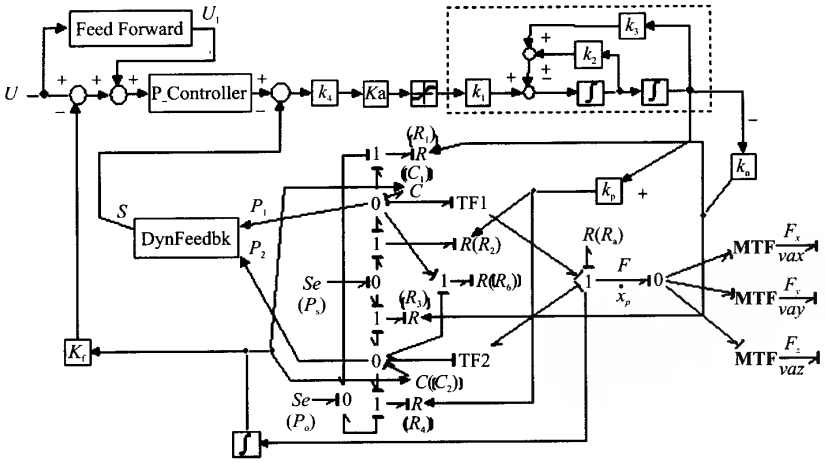


图10 阀控缸系统的模型

图10中左端输入信号 U 为伺服阀的输入电压；k_f 为对应于位移传感器的增益环节。k_4 用于调节动压反馈内环的前向增益。K_a 为伺服放大器所对应的增益环节。K_a 右侧虚线框内部分表示从伺服阀输入电流到阀芯位移的传递函数，为二阶振荡环节。模块 k_p 和 k_n 为开关函数，用于阀芯运动换向时控制各节流窗口的开关。

图10中标号为 R_1、R_2、R_3 和 R_4 的4个 R 元分别对应于4个节流窗口的液阻，其下标编号与图8的节流窗口编号相对应，它们都采用方程形式将伺服阀的流量非线性描述出来。而 R_6 用于描述两腔之间的泄漏。R_a 用于描述活塞和缸筒之间的黏性摩擦。恒势源 $Se(P_s)$ 和 $Se(P_0)$ 的势变量分别对应于伺服阀进油口处压力和回油口处压力。

图10中标号为 C_1 和 C_2 的2个 C 元分别对应于液压缸无杆腔和有杆腔的液容，由最右侧1－结引出的是活塞的速度信号，经过积分得到活塞的位移信号。此位移信号引入到液容 C_1 和 C_2 中，可使液压缸两腔容积随活塞的运动实时变化。这样就充分描述了液压缸的时变容积效应。

图10中最右侧的0－结，其势变量就是液压缸的驱动力。因为平台键图模型的输入为液压缸的驱动力 $\boldsymbol{F}$，且是以 X、Y 和 Z 3个分量形式输入的，所以每个驱动力要输入到3个MTF调制成 X、Y 和 Z 3个方向的分量，即图中的 F_x、F_y、F_z，才能连接到平台的模型。3个MTF的调节信号（变换比）为液压缸的方向余弦 $\boldsymbol{n}=[n_x, n_y, n_z]^{\mathrm{T}}$，因此

$$\begin{aligned} F_x &= \boldsymbol{F}\cdot n_x \\ F_y &= \boldsymbol{F}\cdot n_y \\ F_z &= \boldsymbol{F}\cdot n_z \end{aligned} \tag{4}$$

而活塞的轴向伸缩速度 $\dot{x}_p$ 就等于上铰点的速度 $\boldsymbol{v}_a$ 在液压缸轴线上的投影

$$\dot{x}_p = \boldsymbol{v}_a\cdot\boldsymbol{n} = v_{ax}\cdot n_x + v_{ay}\cdot n_y + v_{az}\cdot n_z \tag{5}$$

式中：v_{ax}、v_{ay} 和 v_{az} 为 $\boldsymbol{v}_a$ 的3个分量。

式(4)和(5)保证了平台模型和阀控缸模型的连接符合因果关系规则，且物理意义是正确的。

另外，除采用比例控制外，还在阀控缸系统中加入了前馈补偿和动压反馈校正，参见图10中的FeedForward和DynFeedbk模块，其实现如图11和图12所示。前馈补偿可以提高系统的快速性能。动压反馈可以改善位于其环内的伺服阀的非线性并且提高系统的阻尼比。

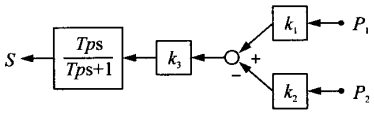


图11 动压反馈模块

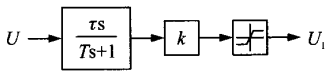


图12 前馈模块

将图10的阀控缸系统模型封装成子模型的形式，如图13所示。

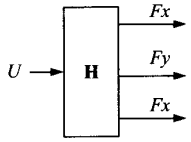


图13 阀控缸子模型

万方数据

3　全系统模型

将阀控缸子模型(共 6 个)连接到平台模型上,在此基础上添加输入信号、运动学反解模块、调节信号生成模块等,就形成了全系统模型,参见图 14。

图 14 中 q_1,q_2,q_3,q_4,q_5 和 q_6 为平台的 6 个位姿输入信号,其中 q_1,q_2,q_3 为 3 个欧拉角,q_4,q_5,q_6 为 3 个位置信号。图 14 还给出了信号流,虚线全箭头为信号键,表示调节信号的流向。整个模型共有 72 个 MTF 需要调节,其中 6 个阀控缸子模型中共有 18 个 MTF 需要液压缸的方向余弦进行调节;平台子模块 J_i 中的 $\tilde{r}_i$ 需要平台坐标变换矩阵的 9 个元素作为调节信号,6 个铰链共需 54 个调节信号。上述调节信号在平台运动时随着平台位姿改变而实时变化,需根据平台的实时位姿进行实时生成,因此图 15 中建立一个调节信号生成模块 MCS,该模块的输入为 6 个位姿参数,其中 3 个位置参数通过平台子模型的速度信号经过积分得到;角速度信号和欧拉角导数之间的关系为

$$\begin{bmatrix} \frac{d}{dt}q_1 \\ \frac{d}{dt}q_2 \\ \frac{d}{dt}q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & sq_1 \cdot tq_2 & cq_1 \cdot tq_2 \\ 0 & cq_1 & -sq_3 \\ 0 & sq_1/cq_2 & cq_1/cq_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \tag{6}$$

式中 s 和 c 分别表示 sin 和 cos 函数。

利用式(6)将角速度变换为欧拉角导数,再积分就会得到另外 3 个姿态参数(欧拉角)。MCS 模块根据上述位置和姿态参数实时生成变换矩阵和各缸方向余弦信号,并输出到系统中各 MTF 处进行调节。

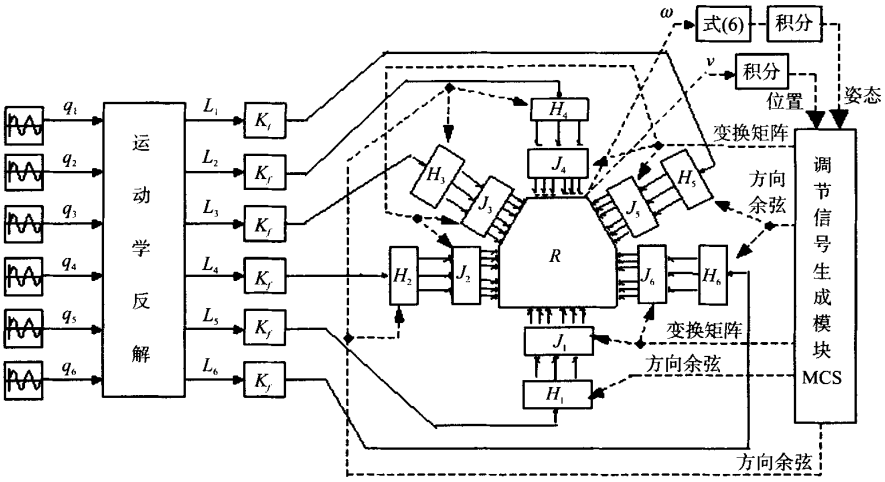


图 14　全系统的键图模型

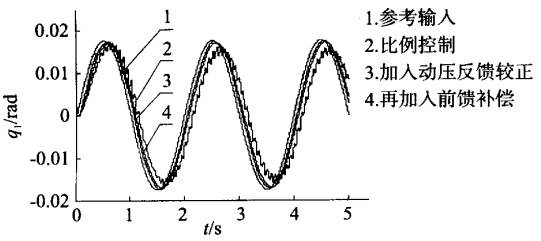
4　实例仿真

以某个液压并联机器人为例进行仿真,其上、下铰点所在圆半径分别为 1.5 m 和 2.1 m,上平台及负载总质量为 7.1 t,液压缸活塞及活塞杆直径分别为 100 mm 和 70 mm。令系统作横摇和升沉运动,跟踪 $q_1 = 1°\sin(2\pi \times 0.5t)$ 和 $q_6 = 0.02\sin(2\pi \times 0.5t)$ m的参考输入信号,仿真得出横摇角 q_1 和升沉位移 q_6 随时间 t 变化的曲线(见图 15)。由图 15 可知,在只采用比例控制时,系统阻尼较小,振荡较大。加入动压反馈校正后加大了阻尼。加入前馈补偿后系统响应进一步加快。

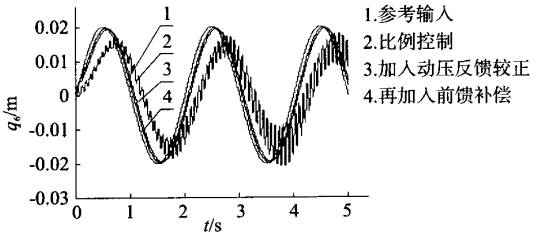
5　结论

本文提出一种新的液压并联机器人的全系统键图模型,模型简洁直观,包含了诸如运动学、动力学及液压系统参数等信息。模型还对系统中诸如液压缸液容的时变特性及伺服阀流量非线性等进行了建模,与传统方块图法相比更接近实际系统,可以基于该模型进行动力学分析和控制算法的设计。

万方数据



(a) 横摇



(b) 升沉

图15 仿真结果曲线

参考文献:

[1] Ould Bouamama B, Medjaher K, Samantaray A, et al. Fault detection and isolation of smart actuators using bond graphs and external models [J]. Control Engineering Practice, 2005, 13: 159 - 175.

[2] Karnopp D, Margolis D, Rosenberg R. System Dynamics: A Unified Approach [M]. New York: John Wiley & Sons, 1990.

[3] Karnopp D. Understanding multibody dynamics using bond graph representations [J]. Journal of Franklin Institute, 1997, 334 (4): 631 - 642.

[4] Pacejka H. Modeling complex vehicle systems using bond graphs [J]. Journal of the Franklin Institute, 1985, 319 (1 - 2): 67 - 81.

[5] Zeid A, Overholt J. Singularly perturbed bond graph models for simulation of multibody systems [J]. Journal of Dynamic Systems Measurement and Control, 1995, 117 (9): 401 - 410.

(上接第181页)

算某些感兴趣点的温度值,进一步缩短计算时间,从而提高热分析和热设计的效率。

参考文献:

[1] David G. Gilmore. Satellite Thermal Control Handbook [M]. California: The Aerospace Corporation Press, 1993.

[2] Robert D. Karam. Satellite Thermal Contral for Systems Engineers [M]. Virgina: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc, 1998.

[3] 顾元宪,赵红兵,亢战,等. 瞬态热传导问题的优化设计与灵敏度分析[J]. 大连理工大学学报,1999,39(2):158 - 165.

[4] 顾元宪,周业涛,陈飚松,等. 基于灵敏度的热传导辨识问题求解方法[J]. 土木工程学报,2002,35(3):94 - 98.

[5] 陈永亮,徐燕申,徐千理,等. 变量化分析的原理及其在机械产品快速设计中的应用[J]. 机械设计,2002,(3):6 - 8.

[6] 闵桂荣. 卫星热控制技术[M]. 北京:宇航出版社,1991.

万方数据

液压并联机器人的键图建模

万方数据 WANFANG DATA 文献链接

作者： 赵强， 李洪人， ZHAO Qiang， LI Hong-ren
作者单位： 赵强,ZHAO Qiang(东北林业大学,交通运输学院,黑龙江,哈尔滨,150040)， 李洪人,LI Hong-ren(哈尔滨工业大学,机电学院,黑龙江,哈尔滨,150001)

刊名： 南京理工大学学报（自然科学版） ISTIC EI PKU
英文刊名： JOURNAL OF NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
年，卷(期)： 2006，30(2)
被引用次数： 0次

参考文献(5条)

1. Ould Bouamama B. Medjaher K. Samantaray A Fault detection and isolation of smart actuators using bond graphs and external models 2005

2. Karnopp D. Margolis D. Rosenberg R System Dynamics:A Unified Approach 1990

3. Karnopp D Understanding multibody dynamics using bond graph representations 1997(04)

4. Pacejka H Modeling complex vehicle systems using bond graphs 1985(1-2)

5. Zeid A. Overholt J Singularly perturbed bond graph models for simulation of multibody systems 1995(09)

相似文献(10条)

1. 期刊论文 刘彦武. 孙立宁. 曲东升. 李长峰. LIU Yan-wu. SUN Li-ning. QU Dong-sheng. LI Chang-feng 基于ADAMS的并联机器人承载能力仿真 -制造业自动化2007,29(7)

在对一种6自由度并联机器人受力特点分析的基础上,应用SOLIDWORKS建立了并联机器人的虚拟样机简化模型,通过数据转换技术将模型导入ADAMS.应用ADAMS软件对并联机器人进行了承载能力仿真,得到了各向负载与驱动力的关系曲线,确定了并联机器人的各向承载能力.仿真结果证明并联机器人各向承载能力取决于某个驱动元件的受力,该并联机器人承载能力在工作空间内比较一致.

2. 学位论文 杨玉维 3-RRRT并联机器人运动学研究与仿真 2004

本文对3-RRRT并联机器人运动学理论作了比较深入的理论研究。主要涵盖以下4个方面：

1.运用了齐次坐标系法和空间矢量法对3-RRRT并联机器人机构进行了分析，用解析的方法给出了该并联机器人的8组位置反解，采用数值方法给出了该并联机器人的位置正解。并基于I-deas系统下的实体模型，应用MATLAB语言及其优化工具箱，实例验证了该数学模型的正确性。

2.采用瞬时速度法，给出了该并联机器人的奇异判别矩阵，采用数值的方法绘制了该机器人的奇异位形空间并分析了其分布规律；采用运动影响系数法给出了该并联机器人的Jacobian逆矩阵，并进行了数值仿真并分析了其分布规律。

3.研究和分析3-RRRT并联机器人的工作空间和灵巧度。给出属于工作空间点的判别条件，并进行了数值仿真并分析了其分布规律；给出了3-RRRT并联机器人灵巧度的计算公式，并进行了数值仿真，并分析其分布规律。

4.作为对上述3个部分的总结与应用，在I-deas环境下对3-RRRT并联机器人进行了运动学的动态仿真。

3. 期刊论文 陈文凯. 莫亚武. Chen Wenkai. Mo Yawu 三自由度并联机器人动力学及仿真 -机械传动2009,33(1)

利用雅可比矩阵建立了一种三自由度并联机器人(3-RSR)动平台的外力、外力矩、惯性力、惯性力矩和重力到驱动关节的映射关系,在合理的假设基础上,运用牛顿欧拉动力学方程得到了动力学数学模型.并且基于虚拟样机技术,利用ADAMS软件对三自由度并联机器人进行动力学仿真.结果表明,用动力学模型计算的驱动力矩值和仿真结果一致,动力学模型精度较高,将其作为驱动力矩控制设计的基础是可行的.

4. 期刊论文 李彬. 郭雯侠. 赵新华. LI Bin. GUO Wen-xia. ZHAO Xin-hua 基于ADAMS的并联机器人参数化设计及仿真 -天津理工大学学报2009,25(6)

基于ADAMS软件在多刚(柔)体系统分析中的应用,将ADAMS软件应用于平面3-RRR并联机器人的参数化设计与仿真.根据工况的实际要求,通过创建设计点,建立机器人参数化模型,以最小驱动转角为优化目标,利用ADAMS软件对并联机器人的杆长进行参数化设计.通过仿真,得出各杆件参数的变化对主动杆转角的影响灵敏度,通过对影响灵敏度较大的参数进行筛选、修改,以较快的速度,以较少的工作量达到设计目标要求.

5. 学位论文 张宏涛 3-3UPS1S并联机器人运动学分析与仿真 2008

并联机器人具有结构简单、造价低、承载能力强、精度高和易于控制等特点，是国内外高新技术研究的重要组成部分。近几年来，少自由度并联机器人成为新的研究热点，在工业生产及其它领域有着广阔的应用前景。并联机器人的运动学分析在机器人研究中占有重要的地位，包括正运动学和逆运动学。正运动学的解具有多解性，往往比较复杂，而逆运动学的解是唯一的，相对比较简单，并联机器人正运动学求解简单化、精确化是研究者关注的重要内容。实现并联机器人运动学仿真的可视化也是机器人研究的一项很重要的内容，它涉及机器人机构学、运动学、零件建模、仿真的三维实现和运动控制，是一项综合性的有创新意义和实用价值的研究课题。

针对少自由度并联机器人的运动学及其仿真，研究内容包括以下四个部分：

1、提出了一种空间三转动自由度的3-3UPS1S并联机器人机构。该机构具有驱动简单和便于控制等优点，可作为腕关节和肩关节，也可应用于并联机床。

2、提出了一种基于逆运动学的正运动学求解方法。通过矢量法建立该并联机器人的正、逆运动学的数学模型，以给定的动平台的转动角度为牛顿迭代法求解的初值进行正运动学角度求解，以给定的动平台的转动角度为正运动学速度和加速度求解时的角度值进行求解。将求得的正运动学的角度、速度和加速度与给定的动平台的相应运动参数进行比较，仿真结果表明采用该方法求得的正运动学解的精度满足要求。从而实现该并联机器人机构正运动学求解简单化、精确化。

3、在Pro/E软件中建立该并联机器人机构的三维虚拟样机模型，利用Pro/E和ADAMS之间的接口程序Mechpro2005将其导入ADAMS软件中，实现接近于物理样机模型的虚拟样机模型的运动学仿真的可视化，同时也避免运动学仿真过程中大量的数学计算和计算机语言编程。

4、通过对该并联机器人在MATLAB和ADAMS不同软件下仿真结果的比较，一方面验证了模型和计算机语言编程的正确性，另一方面也验证了基于

Pro/E和ADAMS的建模和仿真的正确性。

6.期刊论文 余顺年.马履中.YU Shun-Man.MA Lu-zhong 新型两平移一转动并联机器人机构精度分析与仿真 -机械设计2005,22(6)

通过对一种新型两平移一转动并联机器人机构的分析,求出其运动学位置正解,利用微分理论,建立了该并联机器人机构的精度模型.通过计算机仿真,分析了主动副的移动误差、结构参数误差和位姿变化对机器人机构精度的影响.为该机器人机构实际误差补偿与控制提供理论依据.

7.学位论文 高洪 6-3-3并联机器人机构学理论与应用研究 2007

本学位论文首先对并联机器人机构学理论按结构理论,运动学分析,工作空间分析,奇异性分析,动力学分析定以及尺度综合等6个主要研究专题进行了综述,阐述了各专题研究的意义及其内在关系,指出了当前并联机器人机构学研究中尚未解决的问题.

由于目前对6自由度6-3-3并联机构动力学建模及其相关专题研究鲜有报道,而该并联机构既具有输出精度高、结构刚性好、承载能力强、便于控制且部件简单的优点,又具有逆位置解简单、唯一的特性,换言之,6-3-3并联机构既保留了一般并联机构的优点,又克服了一般并联机构正、逆向运动学多解的弊端,从而使其基于逆位置解的机构学专题研究易于贯彻且便于推广应用,因而应用潜力很大.又由于系统建模与仿真是分析、设计和研究复杂系统的一种基本的理论方法和重要的技术手段,故本文使用计算机仿真方法,系统地研究了与6自由度6-3-3并联机器人应用相关的机构学理论问题:运动学分析、支链干涉与奇异性分析、工作空间分析、动力学分析以及尺度综合等.其研究目的在于为该并联机构在精度高、动力性能好的场合的应用提供理论依据和技术支持.其研究思路是:先对该并联机构正、逆向运动学分析和仿真专题展开研究,再基于该机构逆运动学分析对其支链干涉检验、奇异性分析和工作空间分析专题进行研究,最后在前述研究基础上展开其逆动力学分析和仿真专题以及尺度综合专题研究.现将各专题研究的思路、方法和结论简述如下:

1.6-3并联机构运动学分析:基于机构学理论和6自由度6-3-3并联机构基本几何关系结合MATLAB符号数学工具箱,推导得出了该并联机构位置正解方程组,进一步将该非线性方程组的求解问题转化为无约束优化问题:非线性最小二乘问题,提出了使用信赖域算法求解该优化问题的方法并通过数值计算求出了该机构有明确工程意义的正位置解.为该机构基于正向位置解的运动学标定研究提供了基础.

在该机构逆运动学研究中,基于多体运动学推导得出了该机构逆运动学方程.给出了该机构具有"唯一逆解"的条件,证明了:该条件下其逆位置解的唯一性.通过MATLAB语言实现了该机构逆运动学仿真:即,滑块的位移、速度和加速度仿真;支链杆质心位移、速度和加速度仿真;支链杆角速度和角加速度仿真;动平台质心位移、速度和加速度仿真;动平台角速度和角加速度仿真;以球铰相联的滑块和支链杆相对角位移仿真以及以球铰相联的动平台和支链杆相对角位移仿真等.通过仿真分析指出:6-3-3并联机构运动时,各构件加速度矢量一般不是零向量或常向量,因而有惯性力存在且惯性力矢量是机构运动位形的函数;各构件角加速度矢量一般也不全是零向量或常向量,因而有惯性力偶矩存在且惯性力偶矩矢量是机构运动位形的函数.

2.6-3-3并联机构的支链干涉和奇异性研究:提出了该机构支链干涉检验的动画仿真方法;为实现该机构的动画仿真,先推导得出了6-3-3并联机构运动时,其13个构件的运动方程,再基于其逆位置解在MATLAB平台上开发了该机构空间动画仿真程序,该动画检验法既避免了支链干涉检验常规方法--空间几何法的理论复杂性,又实现了支链干涉检验的可视化;通过动画仿真,验证了6-3-3并联机构因采用台体型结构,而使其6支链连杆在空间布置上有分层均布的特点减少了发生支链干涉的可能性.

在该机构奇异性研究中,证明了一般并联机构奇异性判别矩阵:一阶影响系数矩阵与Jacobi矩阵的同一性,给出了并联机构奇异性判别矩阵的新形式;使用计算机仿真方法,将6-3-3并联机构奇异性检验范围扩大到一般空间一实现了动平台以给定姿态,其形心作任意空间运动时,该并联机构奇异性的检验;使用MATLAB语言开发了该机构奇异性仿真程序,通过算例仿真指出:对6-3-3并联机构,其动平台运动可具有一定的姿态变动能力,但当姿态角有较大变动时会出现奇异性现象;而动平台保持与静平台平行的定姿态平动时无奇异性现象出现;在6-3-3并联机构实际应用时,应按照实际任务轨迹进行其奇异性检验.

3.6-3-3并联机构工作空间研究:提出了6-3-3并联机构在给定姿态下工作空间分析的计算机仿真方法,该方法要点是:对给定的三维空间,不需拆解支链杆,只需使用三维搜索法遍历该空间,基于该机构逆位移解,结合滑块运动范围、球铰链半锥角最大值、奇异性条件和支链干涉动画检验,即可排除该三维空间中位姿不可能点,同时显示其中位姿可能点集--工作空间边界三维图形,作为推论还给出了使用工作空间截交面检验其内部是否存在空腔的方法.为6-3-3并联机构的设计和轨迹规划提供了基础.

4.6-3-3并联机构逆动力学研究:基于刚体动力学牛顿一欧拉法推导出了该机构逆动力学方程组,因该方程是系数矩阵为42x36的矩阵方程又提出了用矩阵QR分解求解该动力学方程组的方法,给出了其逆动力学仿真程序开发思路并通过MATLAB软件加以实现,通过空载和有载荷作用两种条件下的算例仿真和分析比较,验证了该动力学模型的正确性.在实物样机制造前,预测和改进该并联机构动力学特性以及提高其设计效率和减少设计制造成本方面具5.6-3-3并联机构应用研究:先分析在目前汽车装配线的模块化装配中,大件上线举升设备合装小车存在的不足一在对接中无自动找正功能而影响装配效率,基于6-3-3并联机器人机构学研究,指出以该机构替代合装小车则可以在举升或吊装对接过程中实现自动找正功能.结合该机构在汽车总装线实现大件吊装的应用功能要求,提出了基于功能满足准则的6-3-3并联机构尺度综合优化建模方法;从应用的角度、以能实现机构的使用功能为准则,即,主要以保证工作空间对任务轨迹的完整包容为准则,建立了该并联机构的尺度综合优化模型;并对基于该模型的一组解,使用前述几章开发的仿真程序就其工作空间对任务轨迹的完整包容情况、与任务轨迹对应的球铰链实际半锥角范围情况、与任务轨迹对应的支链干涉和奇异性情况等进行了检验,结果表明,6-3-3并联机构完全满足生产线大件吊装功能要求.

8.会议论文 宁淑荣.郭希娟.朱思俊.赵文华.黄真 平面3RRR并联机器人机构仿真 2004

本文运用MATLAB语言给出一平面3RRR并联机构三维仿真实体模型的简单画法及三维实体模型的运动仿真,同时又运用微分法和影响系数两种算法仿真了机构的速度及加速度曲线,最后从仿真图中直接分析了机构的奇异位型点,并说明了文献[7]中运用新的性能分析方法所给出的机构尺寸变化对机构性能的影响的结论的实用性.这充分展现了Matlab的科学计算可视化技术在机器人领域的应用及发展前景.

9.期刊论文 卢宏琴.吴洪涛.朱剑英.LU Hong-qin.WU Hong-tao.ZHU Jian-ying 平面并联机器人的奇异性分析及仿真 -机械制造与自动化2007,36(1)

针对平面并联机器人,在理论上对其进行了奇异性分析,根据速度方程中的雅可比矩阵的行列式值将其分为三类:逆运动奇异、正运动奇异及综合奇异.文中以最为常见的曲柄滑块机构及3RRR并联机器人为例,分别进行了奇异性分析,然后利用ADAMS对奇异状态下的机构进行了运动仿真,验证了理论分析结果,使结果更为直观.

10.学位论文 陈宙能 6—PTS并联机器人运动学分析和仿真 2003

对一种新型的6PTS并联机器人的运动学进行了分析和仿真.首先对该种并联机器人的位移、速度和加速度进行了分析和数据仿真,然后,对工作空间的各截面进行了分析,并讨论了结构参数对工作空间的影响,在运动学反解模型的基础上,利用VC++和OpenGL开发了6PTS并联机器人运动学可视化仿真平台,最后运用遗传算法对结构参数进行了优化设计,以使机构的雅可比矩阵的条件数取得尽可能小的值.

本文链接：http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_njlgdxxb200602017.aspx
授权使用：山东建筑大学(sdjzdx)，授权号：4dfcc410-db6b-4403-b39a-9e6800a80598
下载时间：2011年1月11日