

KUKA IR 662/100 型机器人 机构学分析及动力学实验研究

咸 奎 桐

摘要: 本文结合 KUKA IR 662/100型机器人, 系统地分析了它的传动机构、平衡机构、工作空间, 给出了用中间坐标系进行快速坐标变换的六自由度全转动机器人运动学, 正、逆问题的解析解, 利用 L 氏方程对前三个关节建立了动力学模型, 提出了动力学模型的参数辨识方法, 并给出了用系数参数表示的机器人逆动力学问题的快速算法, 最后, 对该机器人的动力学特性进行了实验验证。

一、引 言

机器人机构学作为机器人学的重要组成部分, 已有许多学者在这方面作了大量的工作。目前, 机器人运动学的理论研究已基本成熟, 但机器人动力学, 还有问题; 尚须进一步的探讨, 主要是计算量较大, 计算速度不能满足实时控制的要求。本文在总结前人工作的基础上, 结合 KUKA IR 662/100型机器人系统地分析了它的传动机构、平衡机构、工作空间, 着重在机器人运动学、动力学方面作了一些工作, 以求得机器人学的更加完善和充实。

二、机器人运动学、动力学建模

以前的机器人运动学分析, 多数针对基坐标系 $0-x_0, y_0, z_0$, 如图 1 所示: 是把操作手的位置和关节变量都表示在基坐标系上, 在运动学求解时需要求解 Jacobian 矩阵及其求逆, 计算量较大。而本文所采用的中间坐标系快速坐标变换, 则不要求解 Jacobian 矩阵, 它的原理是在第三关节上同时建立动坐标系 $0_3-x_3, y_3, z_3$ 和静坐标系 $0_3-x_3, y_3, z_3$, 首先在基坐标系上描述机器人的运动, 即把机器人的运动分成操作手相对于动坐标系的运动和动坐标相对于基坐标系的运动两部分, 然后, 再把基坐标系下的量转换到中间静坐标系上。这样每次转换都是 3×3 矩阵变换, 从而显著地减小了计算量。本文给出了该模型的运动学, 正、逆问题的解析解 (略), 并应用于 KUKA IR 662/100 型机器人, 分析了它的奇异位形。

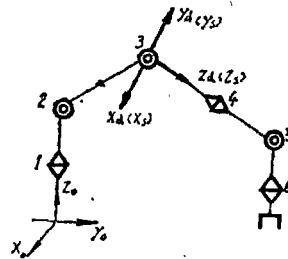


图 1

由于机器人杆件的质量大部分集中在前三个环节上,且腕部的质量也可以等效到小臂上,所以,在对机器人进行动力学分析与综合时仅考虑前三个关节是合理的,本文即是用L氏方程对 KUKA IR662/100 型机器人前三个关节建立动力学方程:

$$\tau_i = \sum_{j=1}^3 S(i \cdot j) \theta_j'' + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \left(\frac{\partial S(i \cdot j)}{\partial \theta_k} - \frac{1}{2} \frac{\partial S(i \cdot j)}{\partial \theta_k} \right) \theta_j' \theta_k' + G_i + f_{c,i} + B_i \theta_i' \quad (i = 1, 2, 3)$$

上式左边表示关节驱动力,右边第一项表示惯性力,第二项表示离心力和科氏力,第三项为重力,第四项为摩擦力,第五项为阻尼力。该方程比较全面地反映了机器人的受力情况。式中 $S(i \cdot j)$ 是位置的函数,它包含 $J_{i,j}$ 、 $R_{i,z}$ 、 $R_{i,r}$ 等惯性参数,是不随位置变化的常数,我们称之为系数参数,这些参数通过下述参数辨识获得。

三、动力学模型的参数辨识和逆动力学问题的快速计算

对于引进机器人分析,如何在不分解机器人的情况下获得它的动力学参数,我们提出了用参数辨识的方法获得。也就是给出前述方程中的 θ_i 、 θ_i' 、 θ_i'' 和 τ_i 进而求得 $J_{i,j}$ 、 $R_{i,z}$ 、 $R_{i,r}$ 、 $f_{c,i}$ 、 B_i 。本文提出了用单关节实验法获得这些系数参数,用静止实验能够求得 $R_{i,z}$ 、 $R_{i,r}$ (所谓静止实验就是记录起动下的 τ_i),用等角速度转动实验获得 B_i 、 $f_{c,i}$,用等角加速度转动实验获得 $J_{i,j}$ 。给出了用系数参数表示的机器人逆动力学方程的显示表达式。由于是以系数参数代替物理参数,使得计算量减少,加减法为75次,乘除法为111次,是目前所接触的算法中计算量最小的,当然,这种方法也可以推广到腕部三个关节上。最后,给出了用FORTRAN语言编写的求解程序。

四、动力学实验研究

为了更好地了解该机器人的动特性,我们对它的前三个关节的驱动、反馈曲线进行测试,测试原理如图2所示:通过与驱动电机和测速电机关联一个电阻,记录它的电流,从而,获得驱动电机和测速电机的电枢电压曲线。我们对关节1、2、3分别测量了在不同位置的驱动、反馈曲线(略),通过对曲线的分析可以得到如下结论,该机器人的大、小臂均能实现完全平衡,驱动力仅用于克服摩擦力和惯性力,且摩擦力不随位置改变,这和前面的分析和假设完全相符。另外,该机器人起动时间关节2只有0.1s,关节1、3也只有0.4s,所以说它的起动速度快,并且起动平稳,进一步证实了上述的分析。

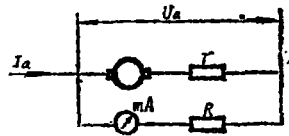


图 2

参 考 文 献

- [1] 大須賀公, 前田浩, 日本ロボット学会誌 1987. 4
- [2] 孙昌国, 含闭链机构的机器人操作手动力学研究, 北京钢铁学院硕士论文, 1988. 5

Mechanism Analysis and Dynamic Experiment Research of KUKA IR 662/100 Robot

Xiao Kuitong

Abstract

This paper analyses the transmission mechanism, balance mechanism and work space of KUKA IR 662/100 Robot in a systematic way. The author gives an analytic solution for kinematic positive and converse problem of the six-freedom rotary robot in fast coordinate transformation with middle coordinate system, finds the dynamics model of the front three joints using Lagrange equation, suggests a method of the parameter identification of the dynamics model and gives the fast algorithm of the robot converse dynamics problem expressing with coefficient parameter. In the last, the author demonstrates the dynamics characteristic of this robot in experiment.