

基于 ADAMS 的六轴机器人动力学仿真分析

陶胤强

(重庆化工职业学院, 重庆 400020)

摘要: **目的** 为了解决六轴机器人包装行业中装箱、搬运等工序的应用问题, 主要基于包装生产线的搬运工序设计作业机器人并对其动力学进行研究。**方法** 根据包装生产线搬运工序的作业特点, 将机器人结构设计为六轴关节型机器人, 每个关节均通过伺服电机连接减速器驱动, 通过牛顿-欧拉法对机器人进行动力学分析, 建立机器人模型, 并运用 ADAMS 软件对其动力学进行仿真分析。**结果** 所设计机器人关节的运动轨迹曲线平稳变化, 轨迹平滑连续, 角速度和角加速度曲线平滑、无突变。**结论** 机器人运动平稳, 在运动过程中振动较小, 证明了结构设计的合理性, 为六轴机器人的优化设计提供了理论基础。

关键词: 包装生产线; 搬运; 机器人; 动力学; ADAMS

中图分类号: TB486⁺.3; TP246 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2021)17-0266-04

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2021.17.037

Dynamics Simulation Analysis of Six-Axis Robot Based on ADAMS

TAO Yin-qiang

(Chongqing Chemical Industry Vocational College, Chongqing 400020, China)

ABSTRACT: In order to solve the application problems of six-axis robots in packing industry, such as packing, handling and other processes, in this paper, the robot is designed based on the handling process of the packaging production line and its dynamics is studied. According to the operation characteristics of the handling process of the packaging production line, the robot structure is designed as a six-axis joint robot, and each joint is driven by a servo motor connected with a reducer. The dynamics of the robot is analyzed by Newton-Euler method, and the robot model is established and its dynamics is simulated by ADAMS software. The motion trajectory curve of the designed robot joint changes smoothly, the trajectory is smooth and continuous, and the angular velocity and angular acceleration curve are smooth without mutation. The robot moves smoothly and has little vibration during the movement, which proved the rationality of the structure design and provides a theoretical basis for the optimal design of the six-axis robot.

KEY WORDS: packaging production line; handling; robot; dynamics; ADAMS

随着工业自动化的快速发展, 工业机器人越来越广泛地应用于各行各业。在包装行业, 重复性高的装箱、搬运等工序越来越多地采用机器人作业^[1-4]。机器人已经成为衡量国家制造业水平的重要指标。目前我国已经超越日本, 成为了工业机器人第一需求大

国。虽然在国家的大力支持下国内对机器人的研究取得了较大的成果, 但国产机器人在性能及生产成本上仍跟国外有一些差距, 我国机器人目前依然主要依靠进口^[5-7]。文中主要对基于包装生产线的搬运机器人的本体结构和动力学进行设计分析, 为六轴机器人

收稿日期: 2020-11-13

作者简介: 陶胤强 (1974—), 男, 硕士, 重庆化工职业学院讲师, 主要研究方向为机电一体化, 机械设计、制造与维修。

的优化设计提供理论基础。

1 机器人本体结构设计

根据包装生产线的搬运工序的作业特点设计,文中设计的机器人为六轴关节型机器人,其额定载荷为 20 kg,最大作业半径为 2 m。六轴关节型机器人具有结构简单、灵活,工作效率高,应用广泛等特点,它具有 6 个自由度,由 6 个转动关节串联构成,每个关节由伺服电机单独驱动,在控制系统的作用下,各个关节各自按照预定的轨迹运动,组合完成末端执行器的功能要求,其结构简图见图 1,主要由底座、旋转座、大臂、前臂以及手腕等部分组成^[8-9]。

由于工业用六轴机器人在工作时的要求具有较高的运动精度,所以采用伺服电机作为各关节的驱动装置,并配有减速器实现各轴的减速。

机器人传动系统结构见图 2, J1 电机为腰部旋转驱动, J2 电机为大臂俯仰驱动, J3 电机为前臂俯仰

驱动, J4 电机作为肘部回转驱动, J5 电机为手腕旋转驱动, J6 电机为末端执行器回转驱动。为各个驱动电机经过减速器减速和力矩放大之后,驱动各个关节运动。由于空间结构限制, J5 电机经过同步带将动力传送至减速器, J6 电机通过锥齿轮将动力传送至减速器。

各关节的运动范围见表 1。

表 1 关节的运动范围
Tab.1 Range of motion of joints

驱动轴	关节类型	关节运动范围/(°)
J1	腰部旋转	-165 ~ 165
J2	大臂俯仰	-70 ~ 90
J3	前臂俯仰	-60 ~ 65
J4	肘部回转	-200 ~ 200
J5	手腕旋转	-120 ~ 120
J6	末端回转	-360 ~ 360

2 动力学分析

关节型六轴机器人本身的结构决定了其系统具有非线性和耦合性。对机械臂的动力学问题的分析主要有牛顿-欧拉法和拉格朗日力学分析法^[10-12]。拉格朗日力学分析法需要建立机器人的标准动力学方程,其计算较复杂。牛顿-欧拉法主要利用递推方法推算出各个运动关节所受的力和力矩,可以实时计算各关节的动力学关系。文中采用牛顿-欧拉法对于机械臂的动力学进行分析。

由于六轴机器人属于典型的串联机器人,所以其各个关节的位置、运动速度等都与相邻关节有关。对各个关节分别建立坐标系,则可以将关节之间的传递转换为各个坐标系之间的传递。如图 3 所示,每个关节都会承受自身的重力和惯性力,同时也会承受相邻关节的作用力。

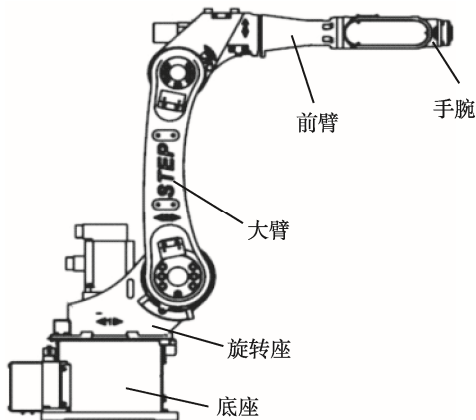


图 1 六轴机器人结构

Fig.1 Schematic diagram of the structure of a six-axis robot

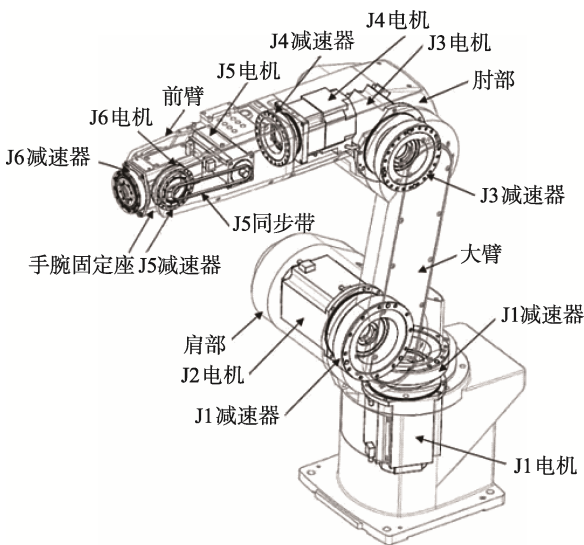


图 2 机器人传动系统结构

Fig.2 Robot transmission system structure diagram

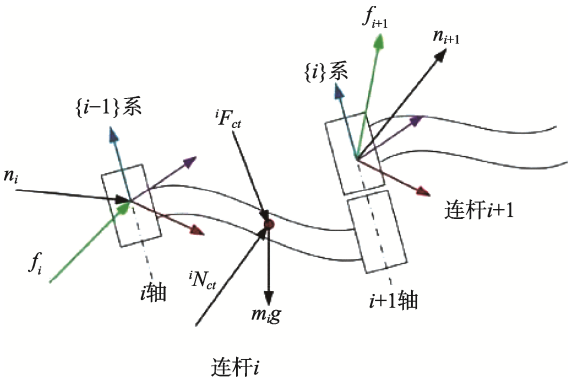


图 3 关节受力示意

Fig.3 Diagram of joint forces

图3中, f_i 为关节 $i-1$ 作用在关节 i 上的力; n_i 为关节 $i-1$ 作用在关节 i 上的力矩; $m_i g$ 为关节 i 自身的重力; ${}^i F_{\alpha}$ 为在坐标系 $\{i-1\}$ 中, 关节 i 所受的惯性力; ${}^i N_{\alpha}$ 为在坐标系 $\{i-1\}$ 中, 关节 i 所受的惯性力矩。在坐标系 $\{i-1\}$ 中, 根据力平衡方程可得:

$$f_i - {}^{i-1}R f_{i+1} + m_i g - {}^i F_{\alpha} = 0 \quad (1)$$

式中: ${}^{i-1}R$ 为在坐标系 $\{i\}$ 中, 坐标系 $\{i-1\}$ 对应的传递转换。

在坐标系 $\{i-1\}$ 中, 由力矩平衡可得:

$$n_i - {}^{i-1}R n_{i+1} - P_i \times ({}^{i-1}R f_{i+1}) + {}^{i-1}r_{\alpha} \times m_i g - {}^i N_{\alpha} - {}^{i-1}r_{\alpha} \times {}^i F_{\alpha} = 0 \quad (2)$$

式中: ${}^{i-1}r_{\alpha}$ 为在坐标系 $\{i-1\}$ 中关节 i 的重心位置; P_i 为在坐标系 $\{i-1\}$ 中, 坐标系 $\{i\}$ 的原点对应位置。

3 机器人动力学仿真分析

采用 ADAMS/View 模块对机器人做运动学分析^[13]。由于机器人三维模型比较复杂, 直接在 ADAMS 中建模会比较困难, 所以先在 SolidWorks 中建好三维模型, 保存为 Parasolid 格式, 然后导入 ADAMS 中。

由于机器人零部件较多, 如果将整个三维模型作为仿真模型不仅工作量非常大而且容易出错, 所以需要模型做适当的简化, 将模型中没有相对运动且材料相同的零部件合并成一个部件, 材料设定好后, 定义各个转动副, 在各个关节之间添加转动副, 在相互固定的零部件之间添加固定副^[14]。最后添加重力, 并在末端执行器上添加 20 kg 的外载荷, 设定好后的机器人仿真模型见图4。然后使用 model verify 命令对模型进行检查, 检查反馈结果见图5, 结果显示模型共有6个自由度, 与实际相符。

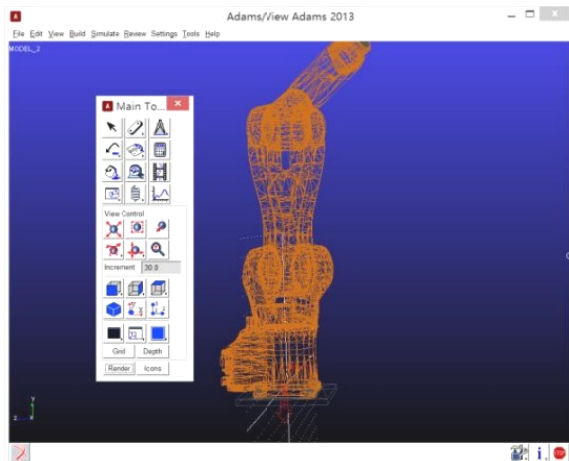


图4 机器人仿真模型
Fig.4 Robot simulation model

VERIFY MODEL: .robot_six_dof

```
-5 Gruebler Count (approximate degrees of freedom)
34 Moving Parts (not including ground)
11 Revolute Joints
2 Translational Joints
24 Fixed Joints
```

6 Degrees of Freedom for .robot_six_dof

图5 检查反馈结果

Fig.5 Check of feedback results

对仿真模型施加运动, 对机器人末端执行器施加多自由度驱动^[15], 设定运动函数见图6, 并设定角度传感器, 限制各个关节的运动范围, 其值按表1中的数值设定。

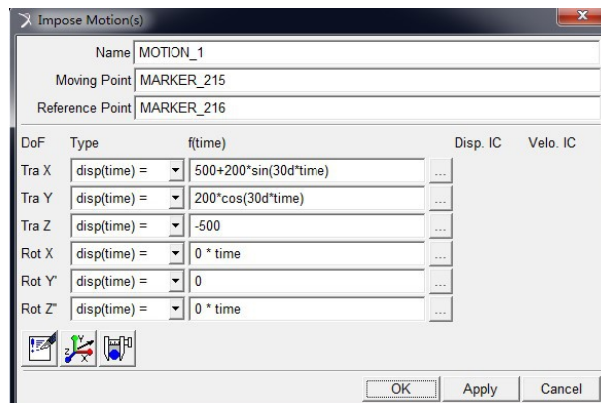


图6 运动函数设定

Fig.6 Motion function setting

设定仿真时间以及仿真步数进, 设置仿真时间为6 s, 步数为500。仿真后得到各个关节的运动轨迹、角速度、角加速曲线, 见图7—9。由图7—9可以看出, 各关节角度平稳变化, 轨迹平滑连续, 角速度和角加速度曲线平滑、无突变, 说明机器人运动平稳, 在运动过程中振动较小, 符合设计要求。

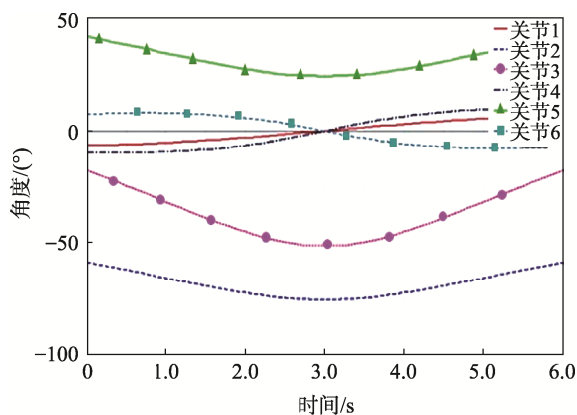


图7 各关节运动轨迹曲线
Fig.7 Trajectory curve of each joint

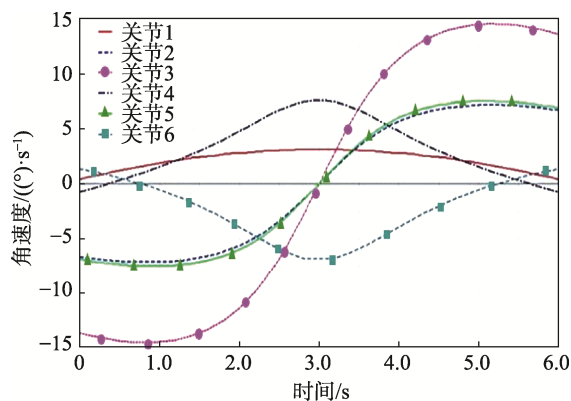


图 8 各关节角速度曲线

Fig.8 Angular velocity curve of each joint

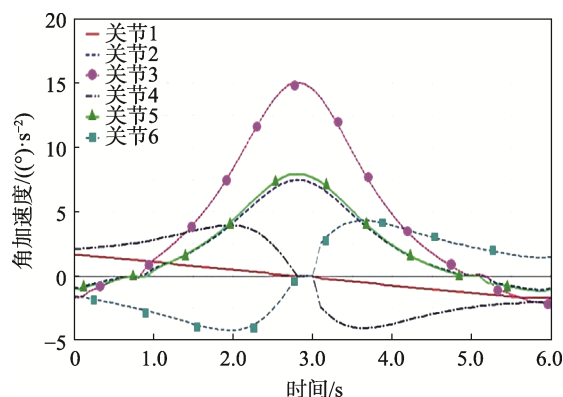


图 9 各关节角加速度曲线

Fig.9 Angular acceleration curve of each joint

4 结语

根据包装生产线的搬运工序的作业特点设计了一款六轴关节型机器人,每个关节均通过伺服电机连接减速器驱动,通过牛顿-欧拉法对机器人进行动力学分析,建立机器人模型并运用 ADAMS 软件对其动力学进行仿真分析,得到了机器人的结构模型及动力学方程。仿真得到了机器人各个关节的运动轨迹曲线、速度曲线、加速度曲线,各曲线平稳变化,无突变,证明了结构设计的合理性,为六轴机器人的优化设计提供了理论基础,为推动我国工业机器人的发展,逐步减少进口工业机器人的数量,为建立自主知识产权的机器人产业打下一定的基础。

参考文献:

- [1] 赵巍秋. 工业机器人发展与展望[J]. 金属加工(冷加工), 2013(20): 16—18.
ZHAO Wei-qiu. Development and Prospect of Industrial Robots[J]. Metal Processing (Cold Processing), 2013(20): 16—18.
- [2] MALIN R, AXMA L, ALEXANDER F. Green Robots Robot-Based Automation is Enabling Energy Efficiency in the Plastics Industry[J]. 3 ABB Review, 2009, 1: 63—67.
- [3] 毕胜. 国内外工业机器人的发展现状[J]. 机械工程师, 2008(7): 5—8.

- BI Sheng. Development Status of Industrial Robots at Home and Abroad[J]. Mechanical Engineer, 2008(7): 5—8.
- [4] 蔡自兴, 郭璠. 中国工业机器人发展的若干问题[J]. 机器人技术与应用, 2013(3): 9—12.
CAI Zi-xing, GUO Fan. Some Problems in the Development of Industrial Robots in China[J]. Robotics Technology and Application, 2013(3): 9—12.
- [5] VANHENTEN E J, SLOT D A V, HOL C W J, et al. Optimalmanipulator Design for Acucumber Harvestingrobot[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009(2): 247—257.
- [6] 张立志. 六自由度点焊机器人结构设计与动态性能分析[D]. 沈阳: 东北大学, 2010: 54—55.
ZHANG Li-zhi. Structural Design and Dynamic Performance Analysis of Six-Dof Spot-Welding Robot[D]. Shenyang: Northeastern University, 2010: 54—55.
- [7] 丁渊明. 6R 串联弧焊机器人结构优化及其控制研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2009: 9—11.
DING Yuan-ming. Structural Optimization and Control of 6R Series arc Welding Robot[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2009: 9—11.
- [8] 袁安福, 陈成. 基于 SolidWorks 和 ANSYS Workbench 的六自由度焊接机器人的建模与优化设计[J]. 机械传动, 2013(2): 53—58.
YUAN An-fu, CHEN Cheng. Modeling and Optimization Design of Six-Degree-of-Freedom Welding Robot Based on SolidWorks and ANSYS Workbench [J]. Mechanical Transmission, 2013(2): 53—58.
- [9] ZACHARIA, PARASKEVI T H, XIDIAS, et al. Task Scheduling and Motion Planning for an Industrial Manipulator[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacture, 2013(6): 439—448.
- [10] 翟敬梅, 康博, 张铁. 六自由度喷涂机器人动力学分析及仿真[J]. 机械设计与制造, 2012(1): 169—171.
ZHAI Jing-mei, KANG Bo, ZHANG Tie. Dynamics Analysis and Simulation of Six Degrees of Freedom Spraying Robot[J]. Mechanical Design and Manufacturing, 2012(1): 169—171.
- [11] 周会成, 任正军. 六轴机器人设计及动力学分析[J]. 机床与液压, 2014, 42(9): 1—5.
ZHOU Hui-cheng, REN Zheng-jun. Design and Dynamic Analysis of Six-Axis Robot[J]. Machine Tool and Hydraulics, 2014, 42(9): 1—5.
- [12] YONG J K, GERSHON E, MYUNG S K. Precise Contact Motion Planning for Deformable Planar Curved Shapes[J]. Computer-Aided Design, 2016, 28(3): 70.
- [13] 陈峰华. ADAMS 2012 虚拟样机技术从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013: 40—45.
CHEN Feng-hua. ADAMS 2012 Virtual Prototyping Technology from Introduction to Proficiency[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2013: 40—45.
- [14] LUO H T, CHEN Z C, WANG H G. Rigid-Flexible Coupling Dynamics Simulation 3-RPS Parallel Robot Based on ADAMS and ANSYS[J]. Applied Mechanics & Materials, 2013(29): 91—96.
- [15] 朱建文, 周波, 孟正大. 基于 Adams 的 150 kg 机器人运动学分析及仿真[J]. 工业控制计算机, 2017, 30(7): 82—87.
ZHU Jian-wen, ZHOU Bo, MENG Zheng-da. Kinematics Analysis and Simulation of 150 kg Robot and Human Based on Adams[J]. Industrial Control Computer, 2017, 30(7): 82—87.