

# 虚拟仿真技术在《工业机器人设计导论》课程中的应用

刘海涛

(西安工业大学 陕西西安 710021)

**摘要:** 机器人学是一门快速发展的、涉及机械、电子、电气、计算机、控制等学科,仅靠理论讲解无法达到教学目的,学生普遍反映内容较难,使得工业机器人难以成为学生受欢迎的课程。本次教改引入了基于ADAMS和MATLAB/Simulink的虚拟仿真技术,建立机器人的虚拟仿真模型,从而使学生在繁重的公式计算中脱离出来,结合教材中的理论讲解,从而获得对知识点更感性的认识,大大提高学生对知识点的掌握,获得了较好的教学效果。

**关键词:** 机器人学 虚拟仿真 ADAMS MATLAB

## The Application of Virtual Simulation Technology in the Course of Introduction to Industrial Robot Design

LIU Haitao

(Xi'an Technological University, Xi'an, Shaanxi Province, 710021 China)

**Abstract:** Robotics is a rapidly developing, involving mechanical, electronic, electric, computer, control and other disciplines, only by theoretical explanation can not achieve the teaching purpose, it is generally difficult for students to understand the content, making it difficult for industrial robots to become a popular-course for students. The teaching reform introduces virtual simulation technology based on ADAMS and MATLAB/Simulink, by establishing robot virtual simulation model, the students can leave away from the heavy formula calculation. Combined with the theory teaching, the students can get more perceptual understanding of knowledge, greatly improve concepts of knowledge, and finally obtain good teaching effect.

**Key words:** Robotics Virtual simulation ADAMS MATLAB

### 引言

工业机器人课堂教学内容复杂多变,又是一门实践性很强的课程,重点的教学内容如基本的数学基础、机器人正运动学、逆运动学、动力学、机器人控制、机器人的结构等,有的内容理论性很强,有的内容实践性突出,涉及机械、电子、电气、计算机、控制等学科部分,内容甚至是多学科交叉,需要学生具有扎实的理论功底和较为丰富的工程实践。学生不但需要掌握机器人学的核心概念,如位姿描述、齐次坐标变换、D-H法、运动学、雅可比、静力学、动力学、轨迹规划、控制等,还需跟上学科发展的节奏,从更高层次上了解机器人学的基本理论,如旋量、运动螺旋、力螺旋、矩阵指数映射、指数公式、各种先进的控制方法等。

### 1 教学现状

针对只有16学时的《工业机器人设计导论》课程,本科学生普遍数学功底较差,工程实践比较欠缺,常规教学方法难以在规定时间内完成相关教学内容,学生普遍反映内容较难,公式庞大,感性认识不强,使得工业机器人难以成为学生受欢迎的课程,学生对该课程的课堂反馈满意度不高。图1为基于拉格朗日法推导的二连杆机器人动力学方程,可以看出,虽然仅仅只有两个自由度,但其动力学方程已经非常复杂,如果将自由度扩展为6,则其动力学方程将需要教材的一到两个整页来表达,对于初学、基础不牢的学生来说,看到这样的公式,会产生恐惧心理,大大降低其学习兴趣。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} m_1 l_1^2 + \frac{1}{3} m_2 l_1^2 + \frac{1}{3} m_2 l_2^2 + m_2 l_1 l_2 \cos \theta_2 & \frac{1}{3} m_2 l_2^2 + \frac{1}{2} m_2 l_1 l_2 \cos \theta_2 \\ \frac{1}{3} m_2 l_2^2 + \frac{1}{2} m_2 l_1 l_2 \cos \theta_2 & \frac{1}{3} m_2 l_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{\theta}_1 \\ \ddot{\theta}_2 \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{2} m_2 l_1 l_2 \sin \theta_2 \\ \frac{1}{2} m_2 l_1 l_2 \sin \theta_2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1^2 \\ \dot{\theta}_2^2 \end{bmatrix} \\ &+ \begin{bmatrix} -m_2 l_1 l_2 \sin \theta_2 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{2} (m_1 + m_2) g l_1 \cos \theta_1 + \frac{1}{2} m_2 g l_2 \cos (\theta_1 + \theta_2) \\ \frac{1}{2} m_2 g l_2 \cos (\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \end{aligned}$$

图1 基于拉格朗日法推导的二连杆机器人动力学方程

另外,本科生进行长期的理论教学,平常也很少直接接触实际工程问题,面对具体问题也无法与理论进行联想或总结。因此非常有必要针对性的对学生的解决复杂工程问题的能力进行训练和提高。例如,对于图2所示的玻璃码垛工况,学生由于工程知识的缺乏,由于疫情的影响又不易到工业现场进行实习,绝大多数学生无法分析出该作业所需的机器人自由度、结构、动作、末端执行器等,难以通过机器人的课程提高学生解决实际工程问题的能力。

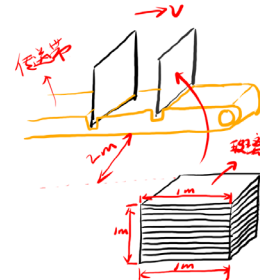


图2 玻璃码垛作业工况

王军、耿其东等针对工业机器人课程理论性强、计算复杂抽象、技术更新快的特点,从课堂理论教学内容、实验教学、课程考核方法等方面提出了一系列改革措施,激发学生的学习兴趣,培养学生的创新及动手能力<sup>[1]</sup>。邓平则探讨了项目式教学在工业机器人专业教学改革中的应用<sup>[2]</sup>。刘娣、刘坤、温秀兰针对应用型本科院校机器人专业方向工业机器人控制课程的教学目标和需求,对工业机器人控制课程理论及实践教学方法和考核方式进行改革探索,重点在培养了学生的实践创新能力,激发了学生的学习主动性<sup>[3-4]</sup>。程仙国、孙慧平、李占涛等在机器人课程中增加实践性教学环节—机器人焊接任务,学生围绕该任务进行工业机器人知识的自主学习,以任务完成的质量评价课程学习效果,提高学生的积极性和主动性,培养学生的创新思维,训练学生实践技能<sup>[5]</sup>。李庆龄根据工业机器人课程特点,探索应用型人才培养教学模式来提高学生学习的积极性和主动性<sup>[6]</sup>。

## 2 教学改革

随着计算机技术的发展,机器人虚拟仿真得到了快速的发展,这些技术可以使学生对繁杂的机器人理论中脱离出来,对机器人学的知识有更感性的认识。本次教改中加入先进的仿真内容,主要是基于 MATLAB/Simulink 和 ADAMS 软件,建立机器人的虚拟仿真模型,从而使学生对繁杂的公式计算中脱离出来,针对一个具体的对象进行计算、仿真分析,结果以图形、动画的形式展示,可以与理论做对比,且更加接近实际的应用。

机器人学理论的讲解离不开实际的应用对象,但随着机器人自由度数的增加,经理论推导得到的公式越来越庞大,因此,选择合适的机器人对象来进行理论的推导、公式的应用就十分重要。所以,教改中选择 3 种机器人模型:单连杆、二连杆和拟人臂机器人。其中,二连杆机器人既简单又不失一般性,最合适作为实践的对象,因此,教学中的绝大部分例子均以二连杆机器人的虚拟仿真模型作为主要研究对象展开。

机器人系统是机械系统与控制系统的有机结合,ADAMS/Controls 模块能够让机构和控制两个系统共享模型信息,把机构的控制问题同时包含在分析中,建立完整的机电系统模型。在 Matlab/Simulink 中,将 ADAMS/Controls 模块建立的机械系统模型集成到控制系统仿真环境中,实现一体化仿真,如图 3 所示。

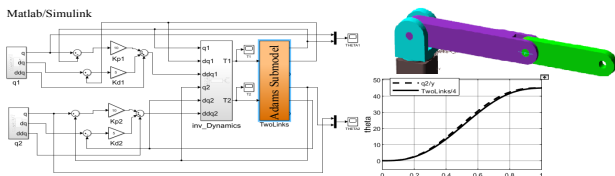


图 3 基于 ADAMS 和 Matlab/Simulink 的机器人虚拟仿真模型

## 3 教学案例分析

这里以二连杆机器人直角坐标空间轨迹规划为例。在实际的工业应用中,最实用的直角坐标空间轨迹规划是点到点之间的直线运动,可用于点焊、搬运、分拣等一系列工作。直角坐标空间轨迹规划与关节空间轨迹规划类似,所有用于关节空间轨迹规划的方法都可用于直角坐标空间的轨迹规划。二者最根本的差别在于,关节空间轨迹规划,规划函数生成的值就是关节值,而直角坐标空间轨迹规划函数生成的值是机器人末端手的位置,并根据实时的机器人末端手位姿反复求解逆运动方程来计算关节角,将直角坐标空间的位姿变量转化为关节量传递给控制器。为了使学生更好的理解二者之间的区别与联系,最好的教学方法就是借助于仿真手段,通过曲线、动画等手段来解释结果。

考虑如图 4 所示的两自由度机械手,  $l_1=l_2=0.25\text{m}$ , 在 10s 内由起点  $P_1(0.41122, 0.26359)$  沿直线移动到终点  $P_2(-0.0282, 0.37783)$ , 且满足起点和终点的速度均为 0, 用三次多项式进行直角坐标轨迹规划,并将其转换为关节空间轨迹。

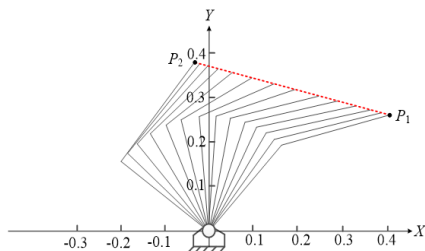


图 4 两自由度机械手三次多项式轨迹规划

在 ADAMS 中建立如图 5 所示的两连杆机器人仿真模型,建立好运动副,

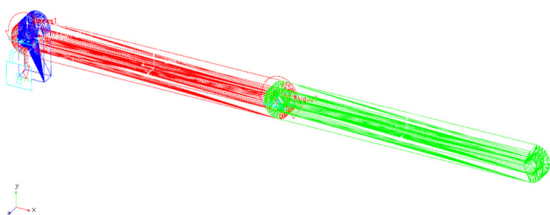


图 5 ADAMS 中建立的两连杆机器人仿真模型

图 5 为二连杆机器人控制 Simulink 模型,两关节均采用了 PD 控制策略,机械手末端的位置、速度、加速度以及对应的关节角度曲线如图 6-图 9 所示。

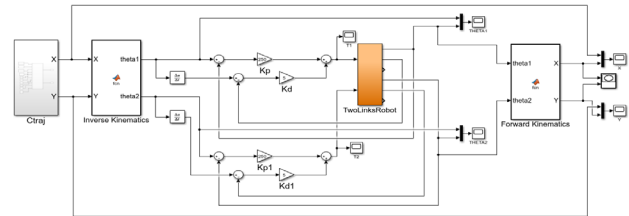


图 5 二连杆机器人控制 Simulink 模型

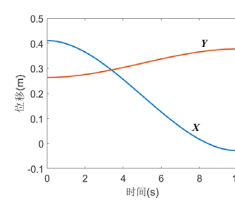


图 6 机械手末端位置直角坐标曲线

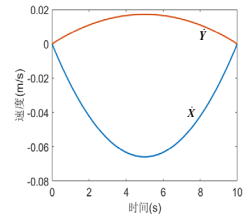


图 7 机械手末端速度直角坐标曲线

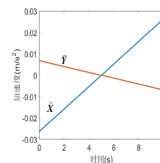


图 8 机械手末端加速度直角坐标曲线

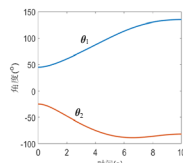


图 9 两关节角度曲线

学生可以方便的通过 ADAMS 和 MATLAB/Simulink 软件建立二连杆机器人的虚拟仿真模型,对任意的机器人两点间的轨迹进行规划,并方便的修改参数,以比较不同参数对轨迹规划结果的影响,对照教材中的理论讲解,从而获得感性的认识,大大提高学生对三次多项式轨迹规划、机器人 PD 控制等知识点的掌握。

## 4 结论

本次教改针对本科生普遍对机器人学兴趣不高、知识点学习困难等问题,大力引入了基于 ADAMS 和 MATLAB/Simulink 的虚拟仿真技术,不但有助于学生掌握教材上的知识点,使学生从繁杂的机器人理论中脱离出来,对机器人学的知识有更感性的认识,达到了很好的教学效果。

## 参考文献

- [1] 工业机器人课程教学改革[J].王军,耿其东,王福元.高校实验室工作研究,2016.
- [2] 项目式教学在工业机器人专业教学改革中的应用探讨[J].邓平.数码设计,2019.
- [3] 应用型本科工业机器人控制课程教学改革[J].刘娣,刘坤,温秀兰.中国教育技术装备,2017.
- [4] 应用型本科院校机器人课程教学探索[J].刘娣,许有熊,朱松青.中国现代教育装备,2015.
- [5] 《工业机器人技术》课程教学改革与实践[J].程仙国,孙慧平,李占涛.宁波工程学院学报,2015.
- [6] 应用型本科工业机器人课程教学改革的探索与实践[J].李庆龄,中国教育技术装备,2013.

## 基金:

西安工业大学教改项目,以案例为引导的互动式教学方法在工业机器人设计导论课程中的应用,编号:20440

## 作者简介:

刘海涛,1981年生,男,博士后,讲师,主要研究机器人、机械动力学学仿真。