



普通高等院校『新工科』创新教育精品课程系列教材
教育部高等学校机械类专业教学指导委员会推荐教材



工业机器人

控制技术



扫码关注数字教学资源

郝丽娜◎主 编

程红太 杨 勇◎副主编



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

普通高等院校“新工科”创新教育精品课程系列教材
教育部高等学校机械类专业教学指导委员会推荐教材

工业机器人控制技术

主 编 郝丽娜
副主编 程红太 杨 勇
参 编 苏学满 陈 杰 陈文林

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

工业机器人是一种机电液控一体化设备,是多学科交叉研究的典型代表。本书对工业机器人本体和系统应用中涉及的控制技术进行了详细介绍,系统地阐述了工业机器人控制系统的组成、工作原理和软件实现等内容,详细介绍了控制对象建模、任务规划、运动规划、控制方法和控制系统实现方式,重点内容配有 MATLAB 程序和电子课件。本书以控制技术为核心,不拘泥于特定机器人结构,章节安排符合技术自身的内在逻辑关系,内容新颖,深入浅出,语言通俗易懂。在编写形式上,注重知识的内在联系和锻炼读者的独立思考能力。

本书可以作为大、专院校电类和机电一体化等专业的教材,也适合工程技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人控制技术/郝丽娜主编. —武汉:华中科技大学出版社,2018.11

普通高等院校“新工科”创新教育精品课程系列教材

教育部高等学校机械类专业教学指导委员会推荐教材

ISBN 978-7-5680-4280-2

I. ①工… II. ①郝… III. ①工业机器人-机器人控制-高等学校-教材 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 257395 号

工业机器人控制技术

郝丽娜 主编

Gongye Jiqiren Kongzhi Jishu

策划编辑:张少奇

责任编辑:程青

封面设计:杨玉凡

责任监印:朱玢

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录排:华中科技大学惠友文印中心

印刷:武汉市籍缘印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:12.25

字数:313千字

版次:2018年11月第1版第1次印刷

定价:36.80元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

普通高等院校“新工科”创新教育精品课程系列教材
教育部高等学校机械类专业教学指导委员会推荐教材

编审委员会

- 顾问：李培根(华中科技大学) 段宝岩(西安电子科技大学)
 杨华勇(浙江大学) 赵 继(东北大学)
 顾佩华(天津大学)
- 主任：奚立峰(上海交通大学) 刘 宏(哈尔滨工业大学)
 吴 波(华中科技大学) 陈雪峰(西安交通大学)
- 秘书：俞道凯 万亚军

出版说明

为深化工程教育改革,推进“新工科”建设与发展,教育部于2017年发布了《教育部高等学校关于开展新工科研究与实践的通知》,其中指出“新工科”要体现五个“新”,即工程教育的新理念、学科专业的新结构、人才培养的新模式、教育教学的新质量、分类发展的新体系。教育部高等学校机械类专业教学指导委员会也发出了将“新”落实在教材和教学方法上的呼吁。

我社积极响应号召,组织策划了本套“普通高等院校‘新工科’创新教育精品课程系列教材”,本套教材均由全国各高校处于“新工科”教育一线的专家和教师编写,是全国各高校探索“新工科”建设的最新成果,反映了国内“新工科”教育改革的前沿动向。同时,本套教材也是“教育部高等学校机械类专业教学指导委员会推荐教材”。我社成立了以李培根院士、段宝岩院士、杨华勇院士、赵继教授、顾佩华教授为顾问,奚立峰教授、刘宏教授、吴波教授、陈雪峰教授为主任的“‘新工科’视域下的课程与教材建设小组”,为本套教材构建了阵容强大的编审委员会,编审委员会对教材进行审核认定,使得本套教材从形式到内容上保持高质量。

本套教材包含了机械类专业传统课程的新编教材,以及培养学生大工程观和创新思维的新课程教材等,并且紧贴专业教学改革的新要求,着眼于专业和课程的边界再设计、课程重构及多学科的交叉融合,同时配套了精品数字化教学资源,综合利用各种资源灵活地为教学服务,打造工程教育的新模式。希望借由本套教材,能将“新工科”的“新”落地在教材和教学方法上,为培养适应和引领未来工程需求的人才提供助力。

感谢积极参与本套教材编写的老师们,感谢关心、支持和帮助本套教材编写与出版的单位和同志们,也欢迎更多对“新工科”建设有热情、有想法的专家和教师加入到本套教材的编写中来。

华中科技大学出版社
2018年7月

前 言

工业机器人是一种典型的机电液控一体化设备,随着其技术水平不断发展和提高,现已被广泛应用于工业制造、康复医疗、物流仓储、航空航天等众多领域。工业机器人技术是多学科交叉研究的成果,内容涉及机械工程、电子工程、计算机工程、控制工程等,它直接反映了一个国家经济和科技发展水平。因此,工业机器人技术现已被普通高校、科研院所及企业公司列为相关专业人才的必修课,是当今工程技术人员亟待掌握的一门技术。

本书基于当前工业机器人的应用水平,对工业机器人本体和系统应用中涉及的控制技术进行了详细介绍,系统地阐述了工业机器人控制系统的结构、工作原理、硬件组成和软件实现等内容,详细介绍了控制对象建模、任务规划、运动规划、控制方法和控制系统实现方式。

本书以技术为核心,章节安排符合技术自身的内在逻辑关系,内容新颖,深入浅出,语言通俗易懂。在编写形式上,本书注重知识的内在联系,从工业机器人本体建模与控制出发,深入探讨工业机器人系统控制技术和前沿研究课题,意在培养学生的综合理论水平和实践能力,将四自由度码垛机器人和三自由度 Delta 机器人分别作为串联机器人和并联机器人的典型案例,并针对各章节内容给出了相应的 MATLAB 示例程序(见二维码中的电子资源),从而使学生能够更好地掌握机器人应用中带有普遍性和规律性的知识。

全书由东北大学郝丽娜教授组织撰写,并负责全书的统稿工作。本书由郝丽娜担任主编,东北大学程红太副教授和广东技术师范大学杨勇教授担任副主编,安徽工程大学苏学满、东北大学陈杰和陈文林参编,东北大学博士生杨辉、陈洋、刘明芳、高金海、张颖、张伟、赵智睿、高席丰等参与本书整理及校对等工作,在此表示感谢。

在本书编写过程中,参考了同行专家和学者的专著及论文,在此表示真挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免存在不足之处,望广大读者予以指正。

编者

2018年3月

目 录

第 1 章 工业机器人概述	(1)
1.1 工业机器人定义	(1)
1.2 典型工业机器人类型	(4)
1.3 工业机器人控制系统概述	(7)
1.4 工业机器人控制系统的功能和组成	(7)
1.5 工业机器人控制系统分类和结构	(9)
1.6 典型工业机器人控制系统.....	(11)
1.7 工业机器人控制系统发展趋势.....	(13)
小结	(14)
习题	(15)
第 2 章 工业机器人运动学及动力学建模	(16)
2.1 位姿描述与坐标系.....	(16)
2.2 坐标变换与齐次坐标变换.....	(18)
2.3 角度表示方法.....	(20)
2.4 机器人连杆 D-H 参数及其坐标变换	(22)
2.5 机器人运动学方程实例.....	(25)
2.6 机器人逆运动学.....	(30)
2.7 速度雅可比矩阵与速度分析.....	(39)
2.8 力雅可比矩阵与静力计算.....	(42)
2.9 工业机器人动力学分析.....	(44)
小结	(51)
习题	(51)
第 3 章 机械臂的轨迹规划	(53)
3.1 概述.....	(53)
3.2 关节空间轨迹规划.....	(54)
3.3 关节空间法.....	(58)
3.4 笛卡儿坐标空间轨迹规划.....	(64)
3.5 轨迹的实时生成.....	(68)
3.6 动力学约束下的运动规划.....	(69)
小结	(74)
习题	(75)

第 4 章 工业机器人本体运动控制	(76)
4.1 概述	(76)
4.2 工业机器人关节模型和关节控制	(76)
4.3 基于关节坐标的工业机器人控制	(78)
4.4 基于笛卡儿坐标的机器人控制	(85)
4.5 工业机器人位置控制的一般结构	(88)
4.6 机器人的分解运动速度控制	(92)
4.7 机器人的分解运动加速度控制	(94)
4.8 计算力矩控制	(97)
小结	(99)
习题	(99)
第 5 章 工业机器人的力控制	(101)
5.1 力控制的基本概念	(101)
5.2 力传感器	(101)
5.3 任务空间内的动力学和控制	(106)
5.4 力和位置混合控制	(115)
5.5 基于关节传感器的力控制系统	(119)
小结	(122)
习题	(122)
第 6 章 工业机器人示教与编程	(123)
6.1 工业机器人示教系统的原理、分类及特点	(123)
6.2 工业机器人示教器的功能	(124)
6.3 工业机器人编程语言的结构和基本功能	(125)
6.4 常用的工业机器人编程语言	(126)
6.5 工业机器人的示教编程与离线编程	(128)
小结	(137)
习题	(137)
第 7 章 工业机器人系统控制技术	(138)
7.1 工业机器人自动化系统概述	(138)
7.2 工业机器人配套传感器	(140)
7.3 工业机器人传送带跟踪技术	(150)
7.4 工业机器人视觉伺服控制	(153)
小结	(161)
习题	(162)
第 8 章 工业机器人控制热点	(163)
8.1 多机器人协作控制	(163)
8.2 人机协作机器人控制	(166)
8.3 移动工业机械臂自主抓取控制	(169)

8.4 ROS-Industrial 控制接口	(171)
8.5 云机器人控制系统	(175)
小结	(177)
习题	(178)
参考文献	(179)
附录 中英文对照表	(182)

第 1 章 工业机器人概述

1.1 工业机器人定义

工业机器人目前没有统一的定义,一般认为,工业机器人是一种具有仿人操作、自动控制 and 可重复编程功能,能组装各种作业任务的机电液控一体化的自动化设备。工业机器人由本体、驱动系统和控制系统三部分组成。其典型应用有焊接、分拣、组装等领域。对于稳定产品质量、提高生产效率、改善劳动条件和加快产品的更新换代起着十分重要的作用。工业机器人有以下四个显著特点。

(1) 可编程:工业机器人可随其工作环境变化而进行再编程,因此它在小批量、多品种和具有高效率的柔性制造过程中能发挥很好的作用,是柔性制造系统的重要组成部分。

(2) 拟人化:工业机器人在机械结构上有类似人的腰部、大臂、小臂、手腕和末端执行器(包括夹持器、仿生手、喷枪、刀具等)等部分,由计算机控制。此外,智能化工业机器人还有许多类似人类器官的“生物传感器”,如力传感器、触觉传感器、视觉传感器、声觉传感器等。

(3) 通用性:除了专用工业机器人外,一般工业机器人在执行不同的作业任务时具有较好的通用性。比如,更换工业机器人末端执行器便可执行不同的作业任务。

(4) 良好的环境交互性:工业机器人在无人干预的条件下,对环境有自适应控制能力和自我规划能力。

目前工业机器人常用术语有以下几个。

(1) 自由度:表示机器人运动灵活性的尺度,指独立的运动的数量。由驱动器产生的主动动作的自由度称为主动自由度,无法产生驱动力的自由度称为被动自由度,这些自由度所对应的关节分别称为被动关节和主动关节。

(2) 工作空间:机械臂连杆的特定部位在一定条件下所能达到的空间的位置集合,又被称作操作空间或任务空间。

(3) 位姿:机械臂末端执行器在指定坐标系中的位置和姿态。

根据结构形式的不同,工业机器人可分为串联机器人、并联机器人和混联机器人。

1.1.1 串联机器人

如图 1.1 所示,串联机器人是以基座为开始、以末端执行器为结束的一系列连杆结构。该串联机器人由三个连杆通过转动关节串联而成。PUMA-560 机器人、ABB 公司的 IRB 1400

和 FANUC 公司的电焊机器人等都是常见的串联机器人。

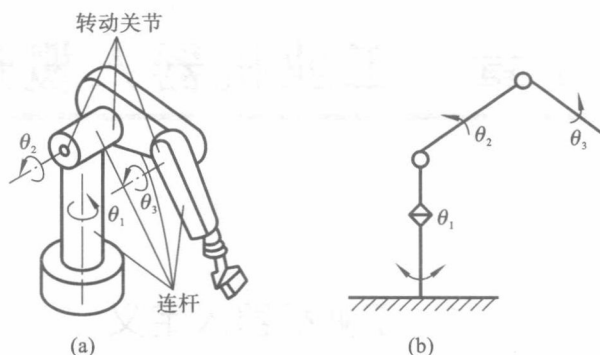


图 1.1 串联机器人

串联机器人运动空间较大,是工业机器人的主要形式,广泛应用于焊接、喷漆、装配、搬运或数控机床等场合。具有六自由度的串联机器人可以实现多种操作,具有很好的适应性。根据任务要求可以选用少自由度机器人从而简化机构,而采用超过六自由度的冗余自由度机器人可以优化任务空间,提高灵活性,但是会增加动力学分析和控制的复杂性。一般来说,串联机器人每个关节上都要安装驱动器,通过减速器来驱动下一个连杆,后续连杆的驱动器和减速器变成前面驱动系统的负载。为了减小串联机器人的尺寸,在设计时驱动器和减速器应布置在靠近基座的位置上。

1.1.2 并联机器人

并联机器人具有动平台和静平台,二者至少通过两个独立的运动链相连接,机构具有两个或两个以上自由度,且以并联方式驱动的一种闭环机构,如图 1.2 所示,该并联机器人由静平台、球铰链组件、连杆和动平台等组成。在并联机器人结构中,并联机构多采用几个运动链完全相同的结构形式,这种结构形式的优点是制造简单、运动分析和控制容易,否则会给加工、控制等多方面带来不利影响。和串联机器人相比较,并联机器人具有以下特点:



- (1) 无累积误差,位置精度较高;
- (2) 驱动装置可置于静平台上或接近静平台的位置,这样运动部分重量轻、速度高、动态响应好;
- (3) 结构紧凑,刚度高,承载能力大;
- (4) 完全对称的并联机构具有较好的各向同性;
- (5) 任务空间较小。

由于这些特点,并联机器人在需要高刚度、高精度或者大载荷且无需很大任务空间的领域得到了广泛应用。

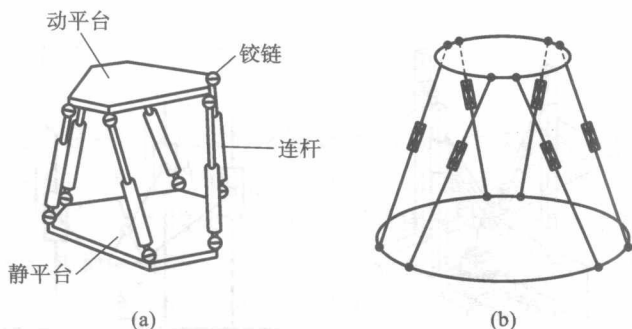


图 1.2 并联机器人

1.1.3 混联机器人

混联机器人是指将串联机器人和并联机器人结合起来,属于机构上的一种折中,扩大了机器人的应用范围,混联机器人在结构上常有三种形式。

1) 并联机构通过其他机构串联而成

此类混联机器人将串联机构的某个关节或杆件以并联机构替换。例如,在传统的串联机器人的基座端或执行端或中部关节中插入具备相应自由度的并联机构。设计这类混联机器人时,往往仅需要考虑自由度的简单组合,结构设计相对简单,具有较好的运动可控制性,属于串联机构和并联机构相应性能的简单叠加。在并联机构出现的地方即体现出并联机构的优势和特点,而不影响其余串联机构的运动与控制。控制策略也大多采用将并联机构和串联机构分开形式,之后再由控制系统实现协调控制,具有十分广泛的适应性,能够满足大多数工业机器人的设计要求。

2) 并联机构直接串联

这类混联机器人是将多个并联机构以串联机器人的设计思路进行结构设计,例如将自由度相同或不同的并联机构通过转动副或移动副等运动副形式串联在一起。这类混联机器人,虽然多由并联机构构成,但仍然是以串联机器人的设计思路为主,结构设计并不复杂,具有较好的运动可控制性,体现出串联机构的优势和特点,如工作空间大等。控制策略也大多采用将多个并联机构分开控制,之后依照串联机构进行协调控制的形式。

3) 在并联机构的支链中采用不同的结构

这类混联机器人是对并联机构的支链进行变形,尤其是替换或嵌入其他的并联机构。例如,将具有相同或不同自由度的并联机构作为并联机器人的某一个或多个支链。此类机器人多用于高运动精度的场合。设计这类混联机器人时,以并联机构为基础,结构设计复杂,属于对并联机构的补偿和优化,在整个混联机器人中已经难以看到串联机器人的影子,多是并联机构相互并联构成。其控制策略也复杂多样,更倾向于并联机构的控制,因此,也有人将这类由并联机构相互并联构成的混联机器人仍当成并联机构来看待。

如图 1.3 所示的混联机器人由两部分组成,上半部分为一种并联机器人,下半部分为一种串联机器人。该混联机器人上半部分的并联机器人由铰链 $a \sim c$ 、 $e \sim g$ 连接,通过并联机器人的三个滑块运动,铰链 e 、 f 和 g 组合的部件可沿着 x 、 y 和 z 三个方向运动,下半部分的串联机器人可实现转动和沿导轨方向的移动。

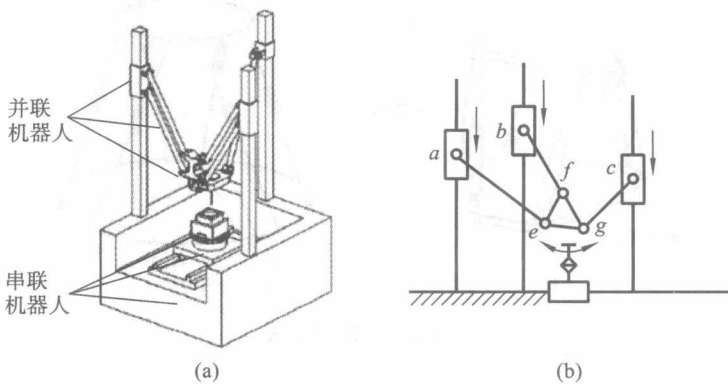


图 1.3 混联机器人

1.2 典型工业机器人类型

针对不同的应用领域,工业机器人呈现不同自由度和不同的结构形式,以下介绍四种典型的工业机器人的本体结构:六自由度通用工业机器人、四自由度码垛机器人、SCARA 机器人和 Delta 机器人。

1.2.1 六自由度通用工业机器人

PUMA-560 机器人是六自由度通用工业机器人中的典型例子,如图 1.4 所示。该机器人有 6 个自由度,有一个立柱,可以垂直旋转;有大臂、小臂,通过转轴相连接。手腕具有三个相互垂直的转轴。

PUMA-560 机器人采用直流伺服电动机驱动并配有安全刹闸;手腕最大载荷为 2 kg(包括手腕法兰盘),最大抓紧力为 60 N;重复定位精度为 0.1 mm;在最大载荷下的自由运动速度为 1.0 m/s,直线运动时为 0.5 m/s;其运动范围是以立柱中心为球心、半径为 0.92 m 的空间半球;整个机械臂重 53 kg。

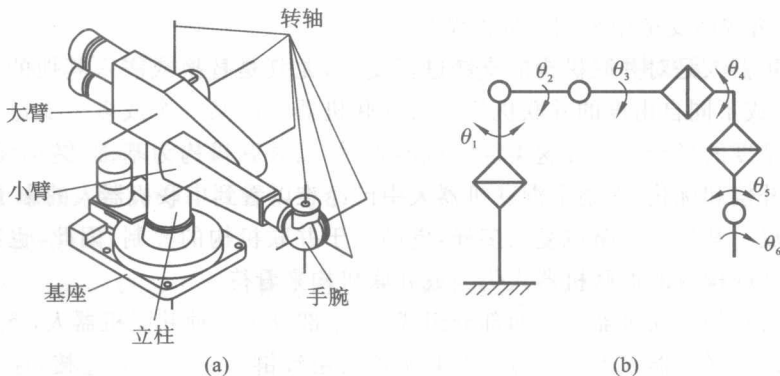


图 1.4 PUMA-560 机器人

1.2.2 四自由度码垛机器人

码垛机器人是指将产品装卸箱或者包装好的产品从生产线搬运下来,并摆放整齐的一类工业机器人,如图 1.5 所示。码垛机器人由基座、主构架、大臂、小臂和腕部构成,四自由度分别是主构架和基座相互的旋转 θ_1 、大臂和小臂相互的旋转 α_1 、小臂和大臂相互的旋转 α_2 和末端执行器在腕部的旋转 θ_5 ,为实现机构平行约束,还需要一个被动自由度,将其定义为 θ_4 。将大臂与水平方向夹角定义为 θ_2 ,将大臂与小臂之间夹角定义为 θ_3 , C_2 、 C_1 分别为大臂和小臂的质心。基座固定在地面上,是码垛机器人承重的基础部件,主构架用来承受基座以上的重量,大臂的回转使机器人在水平方向的行程变动,而末端执行器垂直方向的位置变换通过小臂的回转实现,末端执行器在垂直方向的回转实现工件摆放的位置和角度的变换。码垛机器人具有结构简单、占地面积小、适用性强、耗能低等优点,已大量应用于医药、石化、食品、农业、制造业等领域。

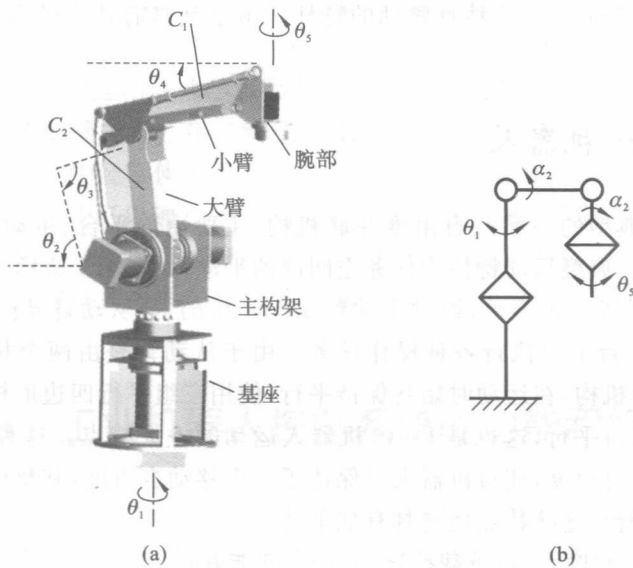


图 1.5 码垛机器人

1.2.3 SCARA 机器人

SCARA 是 Selective Compliance Assembly Robot Arm 的缩写,意思是具有选择顺应性的装配机器人,如图 1.6 所示。SCARA 机器人的第一轴和第二轴的轴线平行,因此,这种机器人在水平方向有顺应性,而在垂直方向则具有很大的刚度。由于各个轴都只沿水平方向旋转,故又称水平关节型机器人,多用于装配,也称为装配机器人。SCARA 机器人大多数采用四自由度机构,这是由于装配操作只需要绕轴线转动,故一般由四关节组成。根据作业要求,部分 SCARA 机器人的末端关节为移动关节,用于完成垂直于水平方向的运动。

SCARA 机器人是一种精密型机器人,具有速度快、精度高、柔性好等特点,可应用于电子、机械和轻工业等有关产品的自动装配、搬运、调试等工作。它的主要功能是搬取和装配。

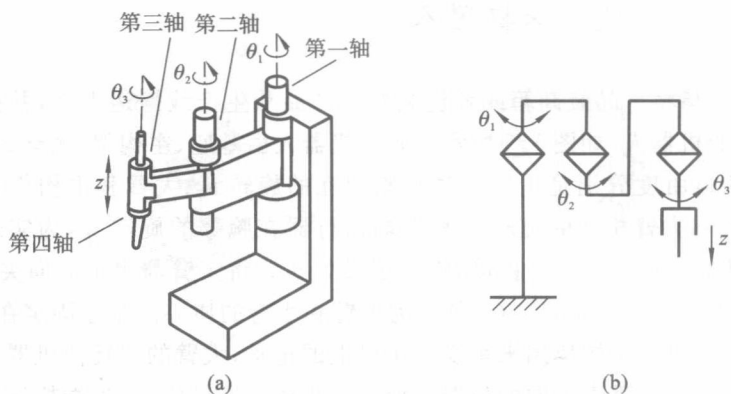


图 1.6 SCARA 机器人

它的第一轴和第二轴具有转动特性,第三轴和第四轴可以根据工作需要的不同,制造成相应的形态,并且具有一个转动、另一个线性移动的特性。由于其具有特定的形状,决定了其工作范围为一个扇形区域。

1.2.4 Delta 机器人

Delta 机器人是典型的空间三自由度并联机构,主要由静平台、主动臂、从动臂和动平台等组成,典型运动特性为任务空间内的平动,如图 1.7 所示。静平台在机器人工作中保持静止不动,通过主动臂 ad 、 ce 和 bf 与从动臂 dg 、 eh 和 fi 连接动平台。动平台主要执行各种操作任务。由于从动臂是由两个相同的杆组成的平行四边形机构,在运动时始终保持平行,使用三组平行四边形机构的优点是使得动平台和静平台始终保持平行,这也是 Delta 机器人运动的一大特点。这种机构限制了机器人末端三个方向的转动自由度,使得机器人只保留了三个移动自由度,其整体结构精密、紧凑,驱动部分均布于固定平台,这些特点使它具有如下特性:



- (1) 承载能力强、刚度大、自重载荷比小、动态性能好;
- (2) 重复定位精度高;
- (3) 超高速拾取物品,一秒钟多个节拍。

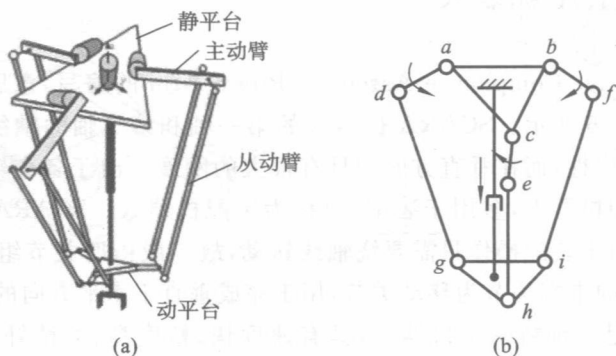


图 1.7 Delta 机器人

1.3 工业机器人控制系统概述

控制系统是工业机器人的主要部分,它的机能类似于人脑。无论是工业机器人本身的运动还是机器人与外围设备协调动作,共同完成作业任务,都必须有一个完善、灵敏、可靠的控制系统。大多数工业机器人各个关节的运动是独立的,为了实现末端的运动轨迹,需要多关节的协调运动。因此,其控制系统具有如下特点。

(1) 机器人的控制与机构运动学及动力学密切相关。机器人的状态可以在各种坐标下进行描述,应当根据需要进行不同的参考坐标系,并做适当的坐标变换,经常要求正向运动学和反向运动学的解,除此之外还要考虑惯性力、外力(包括重力)、科氏力及向心力的影响。

(2) 一个简单的机器人至少要有3~6个自由度,比较复杂的机器人有十几个甚至几十个自由度。每个自由度一般包含一个伺服机构,它们必须协调起来,组成一个多变量控制系统。

(3) 把多个独立的伺服系统有机地协调起来,使其按照人的意志行动,甚至赋予机器人一定的“智能”,这个任务只能由计算机来完成。因此,机器人控制系统是一个计算机控制系统。同时,计算机软件肩负着复杂艰巨的任务。

(4) 描述机器人状态和运动的数学模型是一个非线性模型,随着状态的不同和外力的变化,其参数也在变化,各变量之间还存在耦合。因此,仅仅利用位置闭环是不够的,还要利用速度甚至加速度闭环。系统中经常使用重力补偿、前馈、解耦或者自适应控制方法。

(5) 机器人的动作往往可以通过不同的方式和路径来完成,因此存在一个最优的问题。用计算机建立起庞大的信息库,借助信息库和人工智能的方法进行控制、决策、管理和操作,根据传感器和模式识别的方法获得操作对象及环境的工况,按照给定的指标要求,自动地选择最佳的控制规律。

1.4 工业机器人控制系统的功能和组成

工业机器人控制系统的主要任务是控制工业机器人在任务空间中的位置、姿态、轨迹、操作顺序及动作的时间等项目,其中有些项目的控制是非常复杂的。典型工业机器人控制系统的主要功能有以下两个。

(1) 示教再现功能:指控制系统可以通过示教器或手把手进行示教,将运动顺序、运动速度、位置等信息用一定的方法预先教给工业机器人,由工业机器人的记忆装置将所教的操作过程自动地记录在存储器中,当需要在线操作时,再现存储器中存储的内容即可,如需更改操作内容,只需重新示教一遍。

(2) 运动控制功能:指对工业机器人末端执行器的姿态、速度、加速度等项目的控制。

为了满足上述功能,工业机器人的控制系统需要有相应的硬件和软件。硬件主要由以下几部分组成。

① 传感装置。包括内部传感器和外部传感器。内部传感器主要用于检测工业机器人各关节的位置、速度和加速度等,即感知其本身的状态;而外部传感器就是所谓的视觉、力觉、触觉、听觉、滑觉等传感器,它们可使工业机器人感知工作环境和对象的状态。

② 控制装置。用于处理各种感觉信息,执行控制程序,产生控制指令。一般由一台微型或者小型计算机及相应的接口组成。

③ 关节伺服驱动部分。这部分主要是根据控制装置的指令,按作业任务的要求驱动各关节运动。

机器人控制系统软件包括运动轨迹规划算法、关节伺服控制算法与相应的动作程序等。控制软件可以用多种语言来编制,但由通用语言模块化编制形成的专用语言越来越成为工业机器人控制软件主流。

典型的工业机器人控制系统示意图如图 1.8 所示,包括以下部分。

- (1) 控制计算机:是控制系统的调度指挥机构。一般为微型机、微处理器,有 32 位、64 位等。
- (2) 示教器:示教机器人的工作轨迹和参数设定以及所有人机交互操作,拥有自己独立的 CPU 以及存储单元,与主计算机之间以串行通信方式实现信息交互。
- (3) 操作面板:由各种操作按键、状态指示灯构成,只完成基本功能操作。
- (4) 存储器:存储机器人工作程序的外围存储器。
- (5) 数字和模拟量输入输出:完成各种状态和控制命令的输入或输出。
- (6) 打印机:记录需要输出的各种信息。
- (7) 传感器:用于信息的自动检测,一般为力觉、滑觉和视觉传感器等。
- (8) 伺服控制器:完成机器人各关节位置、速度和加速度控制。
- (9) 辅助控制设备:指和机器人配合的辅助控制设备,如末端执行器、变位器等。
- (10) 通信接口:实现机器人和其他设备的信息交换,一般有串行接口、并行接口等。
- (11) 网络接口:主要实现机器人和其他设备的信息交换。

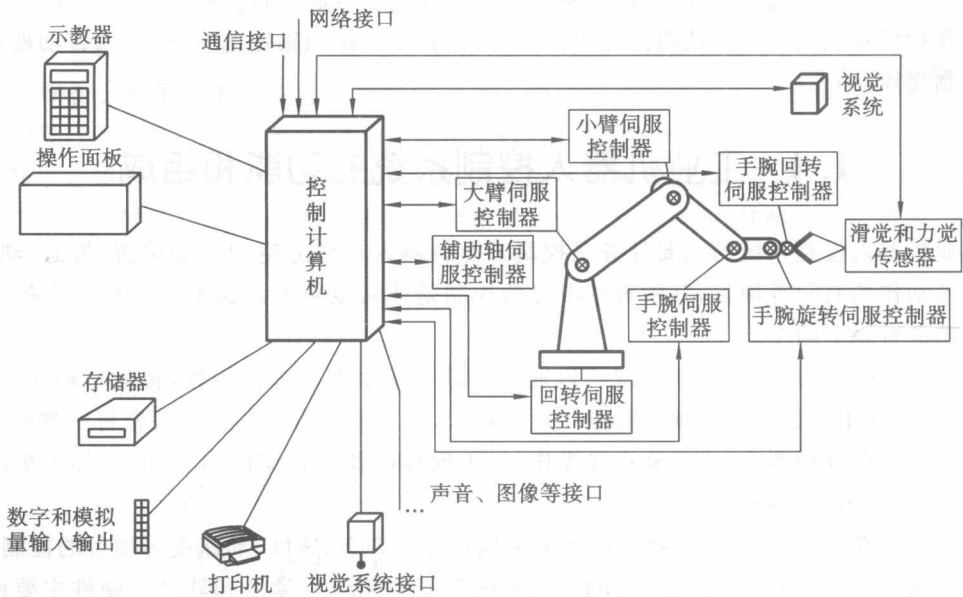


图 1.8 工业机器人控制系统组成示意图

在工业机器人控制系统中,操作者通过示教器、操作面板或数字和模拟量输入输出接口可向控制计算机发出指令,控制计算机将指令发送到伺服控制器(包括大臂伺服控制器、手腕回转伺服控制器、手腕伺服控制器、回转伺服控制器和辅助轴伺服控制器)等。通信接口使传感器(包括滑觉和力觉传感器、视觉系统)与控制计算机相互连接并通信,实时检测控制对象运动