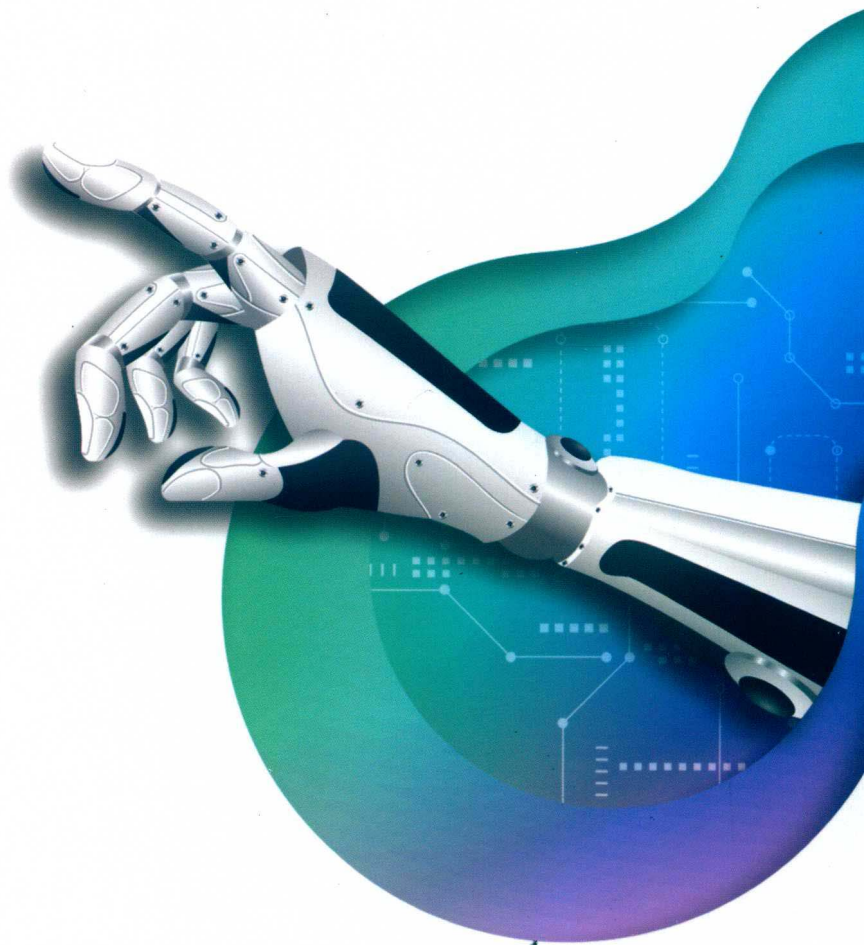


中国矿业大学教材建设工程资助教材



工业机器人系统设计及应用

主编 刘万里 王 琰

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

中国矿业大学教材建设工程资助教材

工业机器人系统设计及应用

主编 刘万里 王 琰



中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书系统地论述了工业机器人系统的设计方法及其应用技术。针对工业机器人的设计和应用过程,本书分别从工业机器人的定义与分类、工业机器人结构及技术参数、工业机器人结构设计、工业机器人控制系统、工业机器人轨迹规划和典型工业机器人设计及应用等方面,为读者介绍了完整的工业机器人系统设计和应用流程以及应该注意的一些技术问题。本书注重将工业机器人基础理论与应用技术相结合,力求反映国内外工业机器人研究领域的新进展,使读者能深入理解工业机器人系统的组成,真正地将理论学习与实际应用相结合。

本书可作为高等学校机器人、机电类、仪器类专业的本科生教材,也可作为相近专业的研究生和中高职学生的参考用书,还可供有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业机器人系统设计及应用 / 刘万里,王琰主编. —徐州:

中国矿业大学出版社, 2018.11

ISBN 978 - 7 - 5646 - 4235 - 8

I. ①工… II. ①刘…②王… III. ①工业机器人—系统设计—高等学校—教材 IV. ①TP242.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 254433 号

书 名 工业机器人系统设计及应用
主 编 刘万里 王 琰
责任编辑 何晓明
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)
营销热线 (0516)83885307 83884995
出版服务 (0516)83885767 83884920
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com
印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司
开 本 787×1092 1/16 印张 8.75 字数 220 千字
版次印次 2018 年 11 月第 1 版 2018 年 11 月第 1 次印刷
定 价 21.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)



前 言

工业机器人是柔性生产不可或缺的设备,因此工业机器人及其零部件结构设计将是机械制造及自动化的重要组成部分,是一种既要求多学科理论基础,更要求工程知识和实践经验的、蕴藏着巨大优化和创新潜力的工作。现在,工业机器人的应用越来越广泛,几乎已经渗透到社会各领域。全国高校陆续成立机器人研究中心,并通过与机器人相关企业的合作,研究、开发、生产机器人,致力于将其产业化并投入到市场应用中。美国麻省理工学院计算机科学和人工智能实验室主任布鲁克斯教授认为,若干年后,机器人在人们日常生活中的应用将会类似于今天的计算机。随着社会的发展,人们的生活将离不开机器人,我们的社会也将机器人化。当前大多数人了解并学习机器人的相关知识只是作为兴趣爱好,但在不久的将来,这将会成为他们生活中的一部分。

但由于各种原因,目前对工业机器人系统研究的成果或论著相对较少,该方面知识主要靠设计者自己在工作实践中摸索积累,这给机器人设计与应用均带来了较大的困难。结构设计知识的不足,不仅会极大地限制设计者的视野和创造力,还会限制机器人的发展和应用。因此,笔者本着“理论-设计-应用”的理念完成了此书,重点在于应用,书中用大量案例较全面系统地阐述了工业机器人机械结构设计方面存在的共性问题,并提出了相应的原则性解决方案,具有很强的实用性。如果能为读者在工业机器人机械结构设计方面提供帮助,笔者将会感到极大的满足与欣慰。

本书围绕当今工业机器人技术的发展前沿和应用,从技术发展、研发思路、关键技术、应用方法等角度分以下8章予以介绍:第1章绪论、第2章工业机器人运动学基础、第3章工业机器人动力学基础、第4章工业机器人结构及技术参数、第5章工业机器人结构设计、第6章工业机器人控制系统、第7章工业机器人轨迹规划、第8章典型工业机器人设计及应用。书中在介绍相关技术的同时,以案例形式介绍了整个工业机器人系统的设计、分析、集成和应用方法,力求做到系统性、专业性和可读性相结合。本书适于从事机器人技术的工程技术人员使用,同时也可作为相关专业本、专科学生的参考书。

本书在编写过程中得到了中国矿业大学多位老师和中国铁路总公司铁路基础设施检测中心王琰助理研究员的支持,还有伊尹世学等多名研究生在插图、排版和公式录入等过程中

付出的辛苦劳动,在此一并致谢。

本书参阅了大量的参考资料,这些资料作者的卓越研究成果使本书内容更加充实,在此向有关作者表示感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中难免存在错漏和不足之处,恳请广大读者批评指正,以便以后改进完善。

主 编

2018年5月



目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 工业机器人的定义与分类	1
1.2 工业机器人的基本组成	4
1.3 工业机器人的设计方法	9
1.4 工业机器人的应用及前景	11
第 2 章 工业机器人运动学基础	14
2.1 位置与姿态的描述	14
2.2 坐标变换	16
2.3 齐次坐标变换	18
2.4 逆变换	19
2.5 工业机器人运动学方程	20
2.6 工业机器人正向运动学	25
2.7 工业机器人逆向运动学	28
第 3 章 工业机器人动力学基础	33
3.1 刚体动力学	33
3.2 工业机器人动力学方程	40
3.3 动力学仿真	44
第 4 章 工业机器人结构及技术参数	46
4.1 工业机器人的技术参数	46
4.2 工业机器人构成	49
4.3 工业机器人驱动结构	53
第 5 章 工业机器人结构设计	61
5.1 工业机器人总体设计方案与流程	61
5.2 转动机构设计	66
5.3 升降机构设计	70
5.4 手臂机构设计	75
5.5 手腕机构设计	81
5.6 夹持机构设计	88

第 6 章 工业机器人控制系统	94
6.1 工业机器人控制系统概述	94
6.2 工业机器人位置控制	95
6.3 工业机器人力矩控制	97
6.4 工业机器人速度控制	101
6.5 工业机器人位置-力矩混合控制	101
第 7 章 工业机器人轨迹规划	103
7.1 轨迹规划的一般性问题	103
7.2 轨迹规划的基本原理	104
7.3 关节空间的轨迹规划	107
7.4 直角坐标空间的轨迹规划	113
第 8 章 典型工业机器人设计及应用	117
8.1 工业机器人设计原则和流程	117
8.2 装配工业机器人设计	119
8.3 模块化工业机器人设计	124
参考文献	130



第1章 绪 论

1.1 工业机器人的定义与分类

1.1.1 工业机器人的定义

什么是工业机器人呢?关于机器人的概念,真有点像盲人摸象,仁者见仁,智者见智。机器人(Robot)是1920年由捷克作家卡雷尔·恰佩克在剧本中塑造的一个具有人的外表、特征和功能,愿意为人服务的机器奴仆,由“Robota”(捷克文,原意为“劳役、苦工”)和Robotnik(波兰文,原意为“工人”)而衍生出来的。我们可以这样说:机器人是一个在三维空间中具有较多自由度的,并能实现诸多拟人动作和功能的机器;而工业机器人则是在工业生产上应用的机器人。美国机器人工业协会提出的工业机器人定义为:“工业机器人是用来进行搬运材料、零件、工具等可再编程的多功能机械手,或通过不同程序的调用来完成各种任务的特种装置。”英国机器人协会、日本机器人协会等也采用了相类似的定义。国际标准化组织(ISO)曾于1987年对工业机器人进行了定义:“工业机器人是一种具有自动控制的操作和移动功能,能够完成各种作业的可编程操作机。”ISO 8373对机器人则给出了更具体的解释:“机器人具备自动控制及可再编程、多用途功能,机器人操作机具有三个或三个以上的可编程轴,在工业自动化应用中,机器人的底座可固定也可移动。”

由此可以总结出工业机器人最显著的特点有以下几个:

(1) 可编程。生产自动化的进一步发展是柔性自动化。工业机器人可随其工作环境变化的需要而再编程,因此它在小批量、多品种、具有均衡高效率的柔性制造过程中能发挥很好的功用,是柔性制造系统(FMS)中的一个重要组成部分。

(2) 拟人化。工业机器人在机械结构上有类似人的行走、腰转、大臂、小臂、手腕、手爪等部分,在控制上有电脑。此外,智能化工业机器人还有许多类似人类的“生物传感器”,如皮肤型接触传感器、力传感器、负载传感器、视觉传感器、声觉传感器等。传感器提高了工业机器人对周围环境的自适应能力。

(3) 通用性。除了专门设计的专用工业机器人外,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,更换工业机器人手部末端操作器(手爪、工具等)便可执行不同的作业任务。

(4) 机电一体化。工业机器人技术涉及的学科相当广泛,但是归纳起来是机械学和微电子学的结合——机电一体化技术。第三代智能机器人不仅具有获取外部环境信息的各种传感器,而且还具有记忆能力、语言理解能力、图像识别能力、推理判断能力等人工智能,这些都和微电子技术的应用,特别是计算机技术的应用密切相关。因此,机器人技术的发展必将带动其他技术的发展,机器人技术的发展和水平也可以验证一个国家科学技术和工

业技术的发展和水平。

1.1.2 工业机器人的分类

工业机器人的分类方法有很多,分类时主要是参照以下内容进行的:

① 工业机器人型号的基本技术参数和符号

工业机器人的承载能力、动作自由度、工作空间的外形和尺寸、定位误差和控制系统形式等基本参数决定了工业机器人的工艺性和结构特点,据此可以确定工业机器人型号。目前,工业机器人型号多采用字母和数字代号来表示,且尚不统一。

② 工业机器人的机械结构

按照工业机器人的机械结构可以分为串联结构、并联结构及混合结构。

③ 机器人生产厂家

目前,机器人生产厂家可以按照自己的情况进行分类。如 ABB 公司生产的工业机器人有通用机器人、喷涂机器人、拾料机器人、码垛机器人等。

④ 工业机器人服务的生产形式

按照工业机器人服务的生产形式可以分为铸造生产中的工业机器人、锻压设备中的工业机器人、金属切削机床用的工业机器人、装配用的工业机器人、金属电镀车间设备用的工业机器人等。

关于工业机器人的分类,国际上暂时没有制定统一的标准,因此从不同的角度可以有不同的分类。

工业机器人按臂部的运动形式分为四种:直角坐标型的臂部可沿三个直角坐标移动;圆柱坐标型的臂部可做升降、回转和伸缩动作;球坐标型的臂部能回转、俯仰和伸缩;关节型的臂部有多个转动关节。

工业机器人按执行机构运动的控制机能,又可分点位型和连续轨迹型。点位型只控制执行机构由一点到另一点的准确定位,适用于机床上下料,点焊和一般搬运、装卸等作业;连续轨迹型可控制执行机构按给定轨迹运动,适用于连续焊接和涂装等作业。

工业机器人按程序输入方式区分有编程输入型和示教输入型两类。编程输入型是将计算机上已编好的作业程序文件,通过 RS-232 串口或者以太网等通信方式传送到机器人控制柜。示教输入型的示教方法有两种:一种是由操作者用手动控制器(示教操纵盒),将指令信号传给驱动系统,使执行机构按要求的动作顺序和运动轨迹操演一遍;另一种是由操作者直接领动执行机构,按要求的动作顺序和运动轨迹操演一遍。在示教过程的同时,工作程序的信息即自动存入程序存储器中,在机器人自动工作时,控制系统从程序存储器中检索出相应信息,将指令信号传给驱动机构,使执行机构再现示教的各种动作。示教输入程序的工业机器人称为示教再现型工业机器人。

工业机器人按照运动形式可以分为以下几类:

(1) 直角坐标型机器人

这种机器人的外形轮廓与数控镗铣床或三坐标测量机相似,如图 1-1 所示。三个关节都是移动关节,关节轴线相互垂直,相当于笛卡尔坐标系的 x 、 y 和 z 轴。它主要用于生产设备的上下料,也可用于高精度的装卸和检测作业。这种形式主要特点如下:

① 结构简单,直观,刚度高。多做成大型龙门式或框架式机器人。

② 三个关节的运动相互独立,没有耦合,运动学求解简单,不产生奇异状态。采用直线

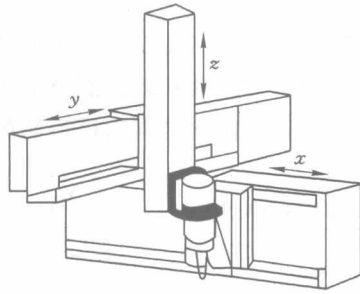


图 1-1 直角坐标型机器人

滚动导轨后,速度和定位精度较高。

③ 工件的装卸、夹具的安装等受到立柱、横梁等构件的限制。

④ 容易编程和控制,控制方式与数控机床类似。

⑤ 导轨面防护比较困难。移动部件的惯量比较大,增加了驱动装置的尺寸和能量消耗,操作灵活性较差。

(2) 圆柱坐标型机器人

如图 1-2 所示,这种机器人以 θ 、 z 和 r 为参数构成坐标系。手腕参考点的位置可表示为 $P=f(\theta, z, r)$ 。其中, r 是手臂的径向长度, θ 是手臂绕水平轴的角位移, z 是在垂直轴上的高度。如果 r 不变,操作臂的运动将形成一个圆柱表面,空间定位比较直观。操作臂收回后,其后端可能与工作空间内的其他物体相碰,移动关节不易防护。

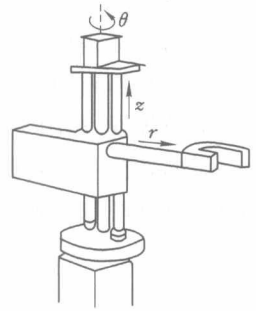


图 1-2 圆柱坐标型机器人

(3) 球坐标型机器人

如图 1-3 所示,腕部参考点运动所形成的最大轨迹表面是半径为 r 的球面的一部分,以 θ 、 φ 、 r 为坐标,任意点可表示为 $P=f(\theta, \varphi, r)$ 。这类机器人占地面积小,工作空间较大,移动关节不易防护。

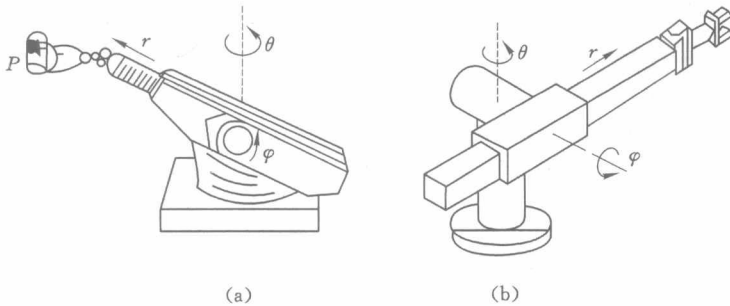


图 1-3 球坐标型机器人

(4) 平面双关节型机器人

机器人有三个旋转关节,其轴线相互平行,在平面内进行定位和定向,另一个关节是移

动关节,用于完成末端件垂直于平面的运动。手腕参考点的位置是由两旋转关节的角位移 φ_1 、 φ_2 和移动关节的位移 z 决定的,即 $P=f(\varphi_1, \varphi_2, z)$,如图 1-4 所示。这类机器人结构轻便、响应速度快。例如,Adept I 型 SCARA 机器人的运动速度可达 10 m/s,比一般关节式机器人快数倍。它最适用于平面定位,在垂直方向进行装配的作业。

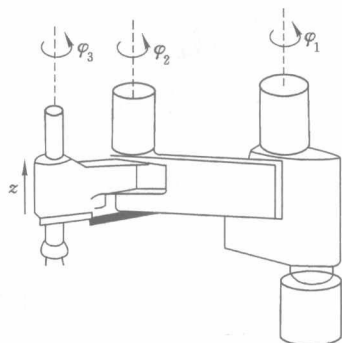


图 1-4 SCARA 机器人

(5) 关节型机器人

这类机器人由两个肩关节和一个肘关节进行定位,由两个或三个腕关节进行定向。其中,一个肩关节绕铅直轴旋转,另一个肩关节实现俯仰,这两个肩关节轴线正交,肘关节平行于第二个肩关节轴线,如图 1-5 所示。这种构形动作灵活,工作空间大,在作业空间内手臂的干涉最小,结构紧凑,占地面积小,关节上相对运动部位容易密封防尘。但这类机器人运动学较复杂,运动学反解困难,确定末端件执行器的位姿不直观,进行控制时,计算量比较大。

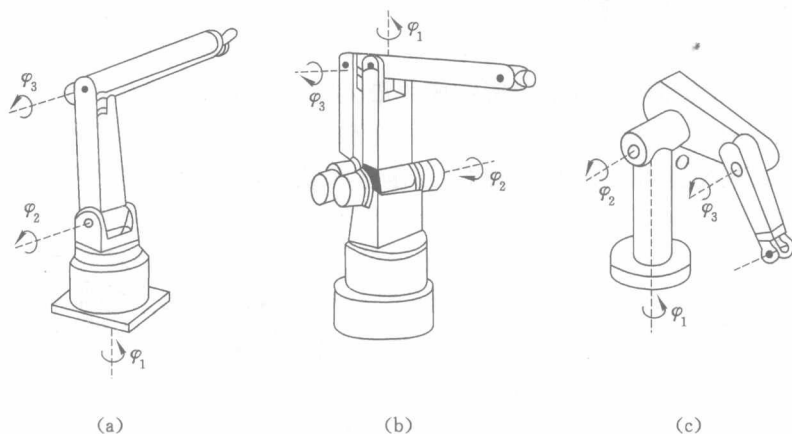


图 1-5 关节型机器人

(a) 直接驱动式;(b) 平行连杆式;(c) 关节偏置式

1.2 工业机器人的基本组成

如图 1-6 所示,工业机器人由机械部分、控制部分、传感部分三大部分组成。这三大部分

主要包括机械结构系统、感知系统、驱动系统、控制系统、人机交互系统、机器人-环境交互系统六个子系统。如果用人来比喻机器人的组成的话,那么控制系统相当于人的“大脑”,感知系统相当于人的“视觉与感觉器官”,驱动系统相当于人的“肌肉”,执行机构相当于人的“身躯和四肢”。整个机器人运动功能的实现,是通过人机交互系统,采用工程的方法控制实现的。

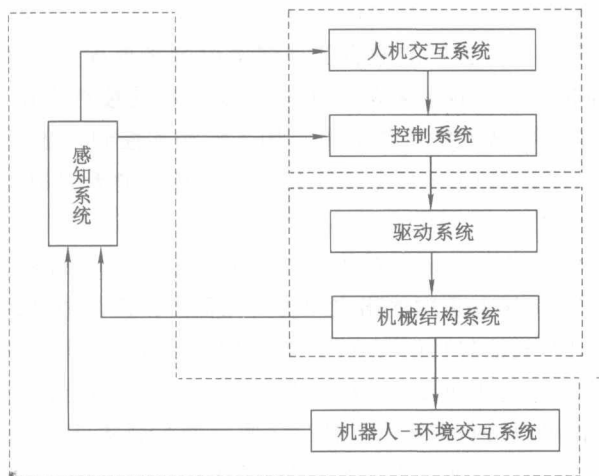


图 1-6 工业机器人的基本组成

1.2.1 机械结构

工业机器人的机械结构由传动部件和机械部件组成。机械部件由机身、手臂、末端操作器三大件组成。每一大件都有若干自由度,构成一个多自由度的机械系统。若基座具备移动机构,则构成移动工业机器人;若基座不具备移动及腰转机构,则构成单工业机器人臂。手臂一般由上臂、下臂和手腕组成。末端执行器是直接装在手腕上的一个重要部件,它可以是两手指或多手指的手爪,也可以是焊枪、喷漆枪等作业工具。

1.2.2 驱动系统

驱动系统是向机械结构系统提供动力的装置。驱动系统的驱动方式主要有:电气驱动、液压驱动、气压驱动及新型驱动。

电气驱动是目前使用最多的一种驱动方式,其特点是:无环境污染,运动精度高,电源取用方便,响应快,驱动力大,信号检测、传递、处理方便,并可以采用多种灵活的控制方式,驱动电动机一般采用步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机(也有采用直接驱动电动机的)。

液压驱动可以获得很大的抓取能力,传动平稳,结构紧凑,防爆性好,动作也较灵敏,但对密封性要求高,不宜在高、低温现场工作。

气压驱动的工业机器人结构简单,动作迅速,空气来源方便,价格低,但由于空气可压缩而使工作速度稳定性差,抓取力小。

随着应用材料科学的发展,一些新型材料开始应用于工业机器人的驱动,如形状记忆合金驱动、压电效应驱动、人工肌肉及光驱动等。

1.2.3 感知系统

感知系统由内部传感器模块和外部传感器模块组成,以获取内部和外部环境中有用的信息。内部传感器用来检测工业机器人的自身状态(内部信息),如关节的运动状态等。外部传感器用

来感知外部世界,检测作业对象与作业环境的状态(外部信息),如视觉、听觉、触觉等。智能传感器的使用提高了工业机器人的机动性、适应性和智能化水平。人类的感知系统对感知外部世界信息是极其巧妙的,然而对于一些特殊的信息,传感器却比人类的感知系统更有效。

(1) 工业机器人对传感器的要求

① 基本性能要求

a. 精度高。精度定义为传感器的输出值与期望值的接近程度。对于给定的输入,传感器有一个期望输出,而精度则与传感器的输出和该期望值的接近程度有关。工业机器人传感器的精度直接影响工业机器人的工作质量。用于检测和控制工业机器人运动的传感器是控制工业机器人定位精度的基础。工业机器人是否能够准确无误地正常工作,往往取决于传感器的测量精度。

b. 重复性好。对同样的输入,如果对传感器的输出进行多次测量,那么每次输出都可能不一样。重复精度反映了传感器多次输出之间的变化程度。通常,如果进行足够次数的测量,那么就可以确定一个范围,它能包括所有在标称值周围的测量结果,那么这个范围就定义为重复精度。通常重复精度比精度更重要,在多数情况下,不精确度是由系统误差导致的,因为它们可以预测和测量,所以可以进行修正和补偿。重复性误差通常是随机的,不容易补偿。

c. 稳定性好,可靠性高。工业机器人传感器的稳定性和可靠性是保证工业机器人能够长期稳定可靠工作的必要条件。工业机器人经常是在无人照管的条件下代替人来操作的,如果它在工作中出现故障,轻者影响生产的正常进行,重者会造成严重事故。

d. 抗干扰能力强。工业机器人传感器的工作环境比较恶劣,它应当能够承受强电磁干扰、强振动,并能够在一定的高温、高压、高污染环境正常工作。

e. 质量小、体积小、安装方便可靠。对于安装在工业机器人操作臂等运动部件上的传感器,质量要小,否则会加大运动部件的惯性,减少总的有效载荷,从而影响工业机器人的运动性能。对于工作空间受到某种限制的工业机器人,对体积和安装方向的要求也是必不可少的。例如,关节位移传感器必须与关节的设计相适应,并能与工业机器人中的其他部件一起移动,但关节周围可利用的空间可能会受到限制。另外,体积庞大的传感器可能会限制关节的运动范围。因此,确保给关节传感器留下足够大的空间非常重要。

f. 价格适当。传感器的价格是需要考虑的重要因素,尤其在一台机器需要使用多个传感器时更是如此。然而价格必须与其他设计要求相平衡,如可靠性、传感器数据的重要性、精度和寿命等。

g. 输出类型(数字式或模拟式)的选择:根据不同的应用,传感器的输出可以是数字量也可以是模拟量,它们可以直接使用,也可能必须对其进行转换后才能使用。例如,电位器的输出是模拟量,而编码器的输出则是数字量。如果编码器连同微处理器一起使用,其输出可直接传输至处理器的输入端,而电位器的输出则必须利用模数转换器(ADC)转变成数字信号。最终哪种输出类型比较合适,必须结合其他要求进行折中考虑。

h. 接口匹配。传感器必须能与其他设备相连接,如微处理器和控制器。倘若传感器与其他设备的接口不匹配或两者之间需要其他的额外电路,那么需要解决传感器与设备间的接口问题。

② 工作任务要求

现代工业中,工业机器人被用于执行各种加工任务,其中比较常见的加工任务有物料搬

运、装配、喷漆、焊接、检验等。不同的加工任务对工业机器人会提出不同的工作要求。

多数搬运工业机器人目前尚不具有感觉能力,它们只能在指定的位置上拾取确定的零件。而且,在工业机器人拾取零件以前,除了需要给工业机器人定位以外,还需要采用某种辅助设备或工艺措施,把被拾取的零件准确定位和定向,这就使得加工工序或设备更加复杂。如果搬运工业机器人具有视觉、触觉和力觉等感觉能力,就会改善这种状况。视觉系统用于被拾取零件的粗定位,使工业机器人能够根据需要,寻找应该拾取的零件,并确定该零件的大致位置。触觉传感器用于感知被拾取零件的存在、确定该零件的准确位置,以及确定该零件的方向。触觉传感器有助于工业机器人更加可靠地拾取零件。力觉传感器主要用于控制搬运工业机器人的夹持力,防止工业机器人手爪损坏被抓取的零件。

装配工业机器人对传感器的要求类似于搬运工业机器人,也需要视觉、触觉和力觉等感觉能力。通常,装配工业机器人对工作位置的要求更高。现在,越来越多的工业机器人正进入装配工作领域,主要任务是销、轴、螺钉和螺栓等装配工作。为了使被装配的零件获得对应的装配位置,采用视觉系统选择合适的装配零件,并对它们进行粗定位,工业机器人触觉系统能够自动校正装配位置。

喷漆工业机器人一般需要采用两种类型的传感系统:一种主要用于位置(或速度)的检测;另一种用于工作对象的识别。用于位置检测的传感器,包括光电开关、测速码盘、超声波测距传感器、气动式安全保护器等。待漆工件进入喷漆工业机器人的工作范围时,光电开关立即接通,传达正常的喷漆工作要求。超声波测距传感器一方面可以用于检测待漆工件的到来,另一方面用来监视工业机器人及其周围设备的相对位置变化,以避免发生相互碰撞。一旦工业机器人末端执行器与周围物体发生碰撞,气动式安全保护器会自动切断工业机器人的动力源,以减少不必要的损失。现代生产经常采用多品种混合加工的柔性生产方式,喷漆工业机器人系统必须同时对不同种类的工件进行喷漆加工,因此要求喷漆工业机器人具备零件识别功能。为此,当待漆工件进入喷漆作业区时,工业机器人需要识别该工件的类型,然后从存储器中取出相应的加工程序进行喷漆。用于这项任务的传感器,包括阵列触觉式传感器系统和机器人视觉系统。由于制造水平的限制,阵列式触觉传感器系统只能识别那些形状比较简单的工件,较复杂工件的识别则需要采用视觉系统。

焊接工业机器人包括点焊工业机器人和弧焊工业机器人两类。这两类工业机器人都需要用位置传感器和速度传感器进行控制。位置传感器主要采用光电式增量码盘,也可以采用较精密的电位器。根据现在的制造水平,光电式增量码盘具有较高的检测精度和较高的可靠性,但价格昂贵。速度传感器目前主要采用测速发电机,其中交流测速发电机的线性度比较高,且正向与反向输出特性比较对称,比直流测速发电机更适合于弧焊工业机器人使用。为了检测点焊机器人与待焊工件的接近情况,控制点焊机器人的运动速度,点焊工业机器人还需要装备接近度传感器。如前所述,弧焊工业机器人对传感器有一个特殊要求,需要采用传感器使焊枪沿焊缝自动定位,并且自动跟踪焊缝,目前完成这一功能的常见传感器有触觉传感器、位置传感器和视觉传感器。

(2) 机器人传感器的种类

机器人根据所完成任务的不同,配置的传感器类型和规格也不尽相同,一般分为内传感器和外传感器。

所谓内传感器,就是测量机器人自身状态的功能元件,具体检测的对象有关节的线位

移、角位移等几何量,速度、角速度、加速度等运动量,还有倾斜角、方位角、振动等物理量,即主要用来采集来自机器人内部的信息。而所谓的外传感器,则主要用来采集机器人和外部环境以及工作对象之间相互作用的信息。内传感器常在控制系统中用作反馈元件,检测机器人自身的状态参数,如关节运动的位置、速度、加速度等;外传感器主要用来测量机器人周边环境参数,通常跟机器人的目标识别、作业安全等因素有关。如视觉传感器,它既可以用来识别工作对象,也可以用来检测障碍物。从机器人系统的观点来看,外传感器的信号一般用于规划决策层,也有一些外传感器的信号被底层的伺服控制层所利用。

内传感器和外传感器是根据传感器在系统中的作用来划分的,某些传感器既可以当作内传感器使用,又可以当作外传感器使用。如力传感器,用于末端执行器或操作臂的自重补偿时,是内传感器;用于测量操作对象或障碍物的反作用力时,是外传感器。

1.2.4 控制系统

控制系统的任务是根据机器人的作业指令以及从传感器反馈回来的信号,支配机器人的执行机构去完成规定的运动和功能。如果机器人不具备信息反馈特征,则为开环控制系统;具备信息反馈特征,则为闭环控制系统。根据控制原理可分为程序控制系统、适应性控制系统和人工智能控制系统。根据控制运动的形式可分为点位控制和连续轨迹控制。

对于一个具有高度智能的机器人,它的控制系统实际上包含了任务规划、动作规划、轨迹规划和基于模型的伺服控制等多个层次,如图 1-7 所示。机器人首先要通过人机接口获取操作者的指令,指令的形式可以是人的自然语言,或者是由人发出的专用的指令语言,也可以是通过示教工具输入的示教指令,或者键盘输入的机器人指令语言以及计算机程序指令;其次要对控制命令进行解释理解,把操作者的命令分解为机器人可以实现的“任务”,这是任务规划;再次,机器人针对各个任务进行动作分解,这是动作规划。为了实现机器人的一系列动作,应该对机器人每个关节的运动进行设计,即机器人的轨迹规划。最底层是关节运动的伺服控制。

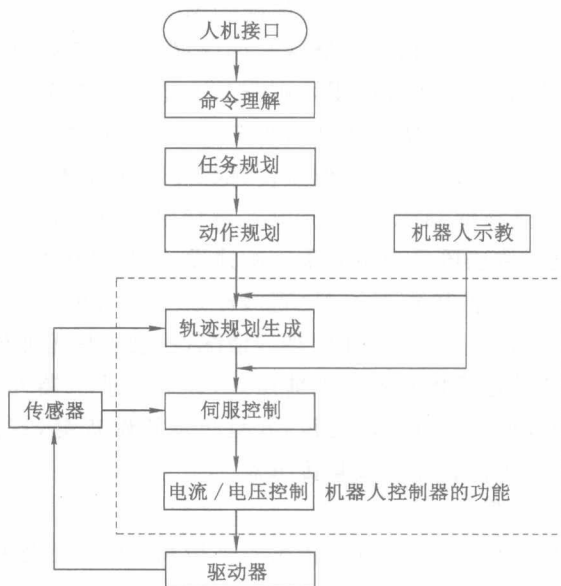


图 1-7 工业机器人控制系统的组成及功能

(1) 工业机器人控制系统的主要功能

实际应用的工业机器人,其控制系统并不一定都具有上述所有组成及功能。大部分工业机器人的任务规划和动作规划是由操作人员来完成的,有的甚至连轨迹规划也要由人工编程来实现。一般的工业机器人,设计者已经完成轨迹规划的工作,因此操作者只要为工业机器人设定动作和任务即可。由于工业机器人的任务通常比较专一,为这样的工业机器人设计任务,对用户来说并不是件困难的事情。

工业机器人控制系统的主要功能有以下几种:

① 工业机器人示教。所谓工业机器人示教,指的是为了让工业机器人完成某项作业,把完成该项作业内容的实现方法对工业机器人进行示教。随着工业机器人完成作业内容复杂程度的提高,如果还是采用示教再现方式对工业机器人进行示教已经不能满足要求了。目前一般都使用机器人语言对工业机器人进行作业内容的示教。作业内容包括让工业机器人产生应有的动作,也包括机器人与周边装置的控制和通信等方面的内容。

② 轨迹生成。为了控制机器人在被示教的作业点之间按照机器人语言所描述的指定轨迹运动,必须计算配置在工业机器人各关节处电动机的控制量。

③ 伺服控制。把从轨迹生成部分输出的控制量作为指令值,再把这个指令值与位置和速度等传感器来的信号进行比较,用比较后的指令值控制电动机转动,其中应用了软伺服。软伺服的输出是控制电动机的速度指令值,或者是电流指令值。在软伺服中,对位置与速度的控制是同时进行的,而且大多数情况下是输出电流指令值。对电流指令值进行控制,本质是进行电动机力矩的控制,这种控制方式的优点很多。

④ 电流控制。电流控制模块接收从伺服系统来的电流指令,监视流经电动机的电流大小,采用PWM(Pulse Width Modulation,脉冲宽度调制)方式对电动机进行控制。

(2) 工业机器人控制系统的任务

工业机器人控制系统是以计算机控制技术为核心的实时控制系统,它的任务就是根据工业机器人所要完成的功能,结合机器人的本体结构和机器人的运动方式,实现机器人的工作目标。控制系统是机器人的大脑,它的优劣决定了机器人的智能水平、工作柔性及灵活性,也决定了工业机器人使用的方便程度和系统的开放性。

1.2.5 人机交互系统

人机交互系统是人与工业机器人进行联系和参与机器人控制的装置。例如,计算机的标准终端、指令控制台、信息显示板、危险信号报警器等。该系统可以分为两大类:指令给定装置和信息显示装置。

1.2.6 机器人-环境交互系统

机器人-环境交互系统是实现机器人与外部环境中的设备相互联系和协调的系统。机器人与外部设备集成为一个功能单元,如加工制造单元、焊接单元、装配单元等。当然也可以是多台机器人集成为一个去执行复杂任务的功能单元。

1.3 工业机器人的设计方法

工业机器人是一个完整的机电一体化系统,是一个包括机构、控制系统、感知系统等等的整体系统。对于工业机器人这样一个复杂的系统,在设计时首先要考虑的是工业机器人的

整体性、整体功能和整体参数,然后才是对局部细节进行设计。

(1) 准备事项

在设计之初,应当首先明确工业机器人的设计目的,即工业机器人的应用对象、应用领域和主要应用目的。然后,根据设计目的确定工业机器人的功能要求。在确定功能要求基础上,设计者可以明确工业机器人的设计参数,如工业机器人的自由度数、信息的存储容量、计算机功能、动作速度、定位精度、抓取重量、容许的空间结构尺寸以及温度、振动等环境条件的适用性等。将设计参数以集合的方式表示,则可以形成总体的设计方案。最后进行方案的比较,在初步提出的若干方案中,通过对工艺生产、技术和价值分析选择出最佳方案。

(2) 工业机器人的详细设计

① 在总体方案确定之后,首先根据总体的功能要求选择合适的控制方案。从控制器所能配置的资源来说,有两种控制方式:集中式和分布式。集中式是将所有的资源都集中在一个控制器上,而分布式则是让不同的控制器负责实现工业机器人不同的功能。

② 在控制方案确定之后,根据选定的控制方案选择驱动方式。工业机器人的驱动方式主要有液压、气压、电气、新型驱动等方式。设计者可以根据工业机器人的负载要求来进行选择,其中液压的负载最大,气动次之,电动最小。

③ 在控制系统的设计及驱动方式确定之后,就可以进行机械结构系统的设计。工业机器人的机械结构系统设计一般包括对末端执行器、臂部、腕部、机座和移动机构等的设计。

④ 工业机器人运动形式。根据主要的运动参数选择运动形式是结构设计的基础。常见工业机器人的运动形式有五种:直角坐标型、圆柱坐标型、极坐标型、关节型和 SCARA 型。

为适应不同的生产工艺或环境需要,可采用不同的结构。具体选用哪种形式,必须根据工艺要求、工作现场、位置以及搬运前后工件中心线方向的变化等情况分析比较,择优选取。为了满足特定工艺要求,专用的机械手一般只要求有 2 个或 3 个自由度,而通用工业机器人必须具有 4~6 个自由度,才能满足不同产品的不同工艺要求。所选择的运动形式,在满足需要的情况下,应以使自由度最少、结构最简单为准。

⑤ 传动系统设计的好坏,将直接影响工业机器人的稳定性、快速性和精确性等性能参数。工业机器人的传动系统除了常见的齿轮传动、链传动、蜗轮蜗杆传动和行星齿轮传动外,还广泛地采用滚珠丝杠、谐波减速装置和绳轮钢带等传动系统。

⑥ 在进行机械设计的过程中,最好能够使用 Pro/E、UG、SolidWork 等 CAD/CAE 软件建立三维实体模型,并在工业机器人上进行虚拟装配,然后进行运动学仿真,检查是否存在干涉和外观的不满意。也可以使用 Adams 等软件进行动力学仿真,从更深层次来发现设计中可能存在的问题。

(3) 制造、安装、调试和编写设计文档

在详细设计完成之后,先筛选标准元器件,对自制的零件进行检查,对外购的设备器件进行验收;然后对各子系统调试后,进行总体安装,整机联调;最后编写设计文档。