

机器人 与 控制技术

诸 静 编著



浙江大学出版社

机器人与控制技术

诸 静 编著

浙江大学出版社

(浙)新登字10号

内 容 简 介

本书着重从控制角度系统地论述机器人的基础技术及其控制理论。主要内容有：机器人技术与展望；位形描述与空间变换；运动学求解与算法，摄动原理与雅可比阵；动力学原理及牛顿-欧拉、拉格朗日等建模方法；机器人基本结构与关节配置、检测、伺服、定位与示教等基础技术；机器人的位置、速度、力控制，控制器模型与多关节机械手控制；控制路径给定和机器人规划系统；机器人现代控制理论与计算机群控、仿真等辅助技术。全书共八章，并附有适量例题、编程框图与习题。

本书适宜作为高校工业自动化、自动控制与机电一体化等专业高年级本科生和研究生的教材，也可作为从事机器人研究、控制系统设计、开发、应用的科技人员、大专院校师生的自学参考书籍。

机器人与控制技术

诸 静 编著

责任编辑 朱谨準

浙江大学出版社出版

上虞科技外文印刷厂印刷

浙江省新华书店发行

787×1092 1/16 19印张 486千字

1991年10月第1版 1991年10月第1次印刷

印数0001—2000

ISBN 7—308—00787—1

TP·055 5.25元

前 言

30年前,机器人只是作为一种科学幻想人物出现在剧作家的小说和剧本中,1961年世界上第一台工业机器人的诞生,开创了它的自身生存和发展史,并且显示了它强盛的生命力。

现代科学技术的迅速发展,尤其是80年代以来,机器人技术的进展与其在各个领域的广泛应用,引起了各国专家、学者的普遍关注。许多技术先进国家均把机器人技术的开发、研究列入国家高科技发展计划,进行大力研究。尽管至今对“机器人学”这一崭新的学科还没有一个明确的定义,但它作为一门边缘学科,成为当前高技术发展的前沿学科之一是确信无疑的,它必将与高等动力学、材料科学、近代电子学、计算机科学、自动控制理论与系统、传感技术、信息技术、人工智能、仿生学、系统工程等学科关系密切,相互渗透,共同发展。机器人的要害是自动控制,是计算机与人工智能的结合,它解决计算机辅助设计(CAD)、辅助制造(CAM)和辅助实验(CAE)等一系列问题。机器人系统的先进程度和功能强弱,通常直接受到其控制技术的影响。由于机器人动力学模型具有变参数、强耦合、高度非线性的特点,机器人控制要求精度高与速度快;并应具有通用性、柔软性与灵活性,它在很大程度上依赖于机构运动学和动力学分析、感知能力与伺服技术。现代控制理论的发展、高级控制策略的探求,新一代计算机的出现与人工智能开发将给机器人技术带来新的生机。

本书是作者多年来从事机器人控制教学实践和科研工作,并根据作者于1988年撰写我校工业自动控制专业研究生和高年级本科生使用过多届的同名教材,进行去粗存精、充实提高编写而成的。作者着重从控制角度系统地论述机器人的基础技术及控制理论。力求阐明机器人控制的基本理论、基本概念和基本技术,为使读者了解当前国内外机器人控制的研究水平,介绍了现代控制理论在机器人控制中的应用以及高级控制策略。

全书八章,主要内容包括:坐标空间变换数理基础和有关定义;机器人运动学方程;机器人动力学建模;机器人系统中传感技术;机器人系统及控制理论(包括:模型控制、适应控制、系统参数辨识与多变量解耦控制等);机器人控制中计算机辅助技术的应用。本书图文并茂,每章节附有适量例题和编程框图,并给出足量思考和练习题,以利读者自学并有所得益。

由于机器人学是一门新兴学科,机器人控制理论和技术的许多方法与策略正在研究、探索阶段,限于作者水平,书内错误和不妥之处在所难免,衷心希望同行和读者批评指正,不胜感激。

最后,本书出版承蒙蒋静坪教授、胡中辑教授和南京航空学院沈春林副教授、江苏省计算技术研究所张开元高级工程师在百忙中对本书进行了评审,并提出宝贵意见,在此表示衷心感谢,并对形成本书有所帮助和付出辛勤劳动的王景美副教授及其他同行、同事表示由衷感谢。

诸 静

1990年11月于浙江大学

目 录

前言	
第一章 绪论	1
第一节 机器人由来与定义	1
§1.1 机器人由来	1
§1.2 机器人定义	1
第二节 机器人分类	2
第三节 机器人发展与展望	4
§3.1 机器人发展史	4
§3.2 智能机器人技术展望	4
第四节 机器人应用与未来	7
§4.1 机器人应用特点	7
§4.2 人类的未来伙伴	9
第二章 位形描述和空间变换	11
第一节 位形空间的描述	11
§1.1 位形空间和自由度	11
§1.2 齐次坐标	11
§1.3 位形描述与广义坐标	12
§1.4 框与框的描述	13
第二节 空间变换	13
§2.1 框映射	13
§2.2 坐标变换	14
§2.3 等效旋转变换	27
第三节 刚体运动的矩阵表示	30
§3.1 位形矩阵	30
§3.2 速度矩阵与加速度矩阵	30
§3.3 应用举例	32
第四节 关节空间与连杆描述	34
§4.1 关节与连杆	34
§4.2 连杆的描述	35
§4.3 关节空间与连杆变换	36
§4.4 实例	39
第三章 机械手运动学	42
第一节 正向运动学	42
§1.1 形态广义坐标求解	42
§1.2 位置广义坐标求解	46
§1.3 实例	46
第二节 摄动平移和摄动旋转	50
§2.1 摄动齐次变换	50
§2.2 摄动齐次变换的无序性	52

§ 2.3	摄动齐次变换的相对性	53
§ 2.4	摄动与雅可比矩阵	55
§ 2.5	实例	56
第三节	机械手摄动与空间表示	61
§ 3.1	机械手摄动与位形空间表示	61
§ 3.2	机械手摄动与关节空间表示	62
§ 3.3	机械手摄动与伪雅可比矩阵	62
§ 3.4	J 阵和 J^* 阵	66
§ 3.5	实例	68
第四节	逆向运动学	69
§ 4.1	逆问题可解性	70
§ 4.2	解析算法	71
§ 4.3	逆雅可比矩阵	76
§ 4.4	数值解算法	80
第四章	机械手动力学模型	85
第一节	牛顿-欧拉法建模原理	85
§ 1.1	动力学建模一般算法	85
§ 1.2	牛顿-欧拉建模算法之一	88
§ 1.3	牛顿-欧拉建模算法之二	93
第二节	广义坐标建模原理	94
§ 2.1	达朗伯方程建模算法	94
§ 2.2	广义动静法建模与算法	96
第三节	拉格朗日方程建模原理	98
§ 3.1	建模原理与算法	99
§ 3.2	实例	104
第五章	机器人控制基础技术	112
第一节	机器人的基本结构	112
§ 1.1	关节结构和自由度	112
§ 1.2	关节配置	114
§ 1.3	手臂与抓手	115
第二节	检测技术	117
§ 2.1	测量传感器分类	117
§ 2.2	内部测量用传感器	118
§ 2.3	外部测量用传感器	122
第三节	伺服驱动技术	127
§ 3.1	伺服机构形式和分类	127
§ 3.2	电气伺服系统	129
§ 3.3	电气-油压伺服系统	139
§ 3.4	气压伺服系统	141
第四节	定位技术	141
第五节	示教技术	142
第六章	机器人控制	144
第一节	工业机器人控制方式及其分类	144
§ 1.1	工业机器人控制方式	144

§ 1.2 工业机器人控制方式分类	146
第二节 机械手控制器模型	151
§ 2.1 位置控制器的建模	151
§ 2.2 控制器模型的分解	152
§ 2.3 机械手控制器	153
§ 2.4 力控制器建模	162
第三节 多关节机械手的控制	165
§ 3.1 多关节机械手	165
§ 3.2 多关节机械手位置计算	166
§ 3.3 人臂型机械手位置与手指方向的三维向量算法	169
§ 3.4 由手指位置方向求各关节角的算法	173
§ 3.5 输入手指移动速度的算法	176
第四节 机械操作手控制中几个重要问题	178
§ 4.1 结构频率与系统稳定性	178
§ 4.2 误差分析	180
§ 4.3 多杆操作手控制中耦合	185
§ 4.4 力矩伺服	186
§ 4.5 伺服系统的参数计算与采样频率	188
第七章 控制路径与规划系统	189
第一节 路径描述的一般问题	189
§ 1.1 路径与描述	189
§ 1.2 作业描述举例	190
第二节 关节空间的运动规划	190
§ 2.1 运动规划的约束条件	191
§ 2.2 多项式函数规划	192
§ 2.3 具有抛物线段的线性函数规划	195
第三节 直角坐标空间的运动轨迹规划	198
§ 3.1 直角坐标空间的运动轨迹规划算法	198
§ 3.2 应用举例	201
第四节 运行中运动轨迹的给定	203
§ 4.1 关节空间路径的形成	203
§ 4.2 直角坐标空间路径的形成	204
§ 4.3 动态规划的应用	204
第五节 机器人规划	206
§ 5.1 产生式系统	206
§ 5.2 STRIPS系统和“手段-目标”分析	211
§ 5.3 高级的规划生成系统	214
§ 5.4 分层规划	216
§ 5.5 学习系统和专家系统	217
第八章 机器人现代控制与计算机辅助技术	222
第一节 机器人现代控制技术	222
§ 1.1 动态控制	222
§ 1.2 解耦控制	224
§ 1.3 最优控制	226

§ 1.4 自适应控制	229
§ 1.5 模糊控制	236
§ 1.6 滑模控制	238
第二节 冗余控制与协调控制	241
§ 2.1 冗余机器人控制	241
§ 2.2 机器人协调控制	243
第三节 计算机系统及其辅助功能	245
§ 3.1 计算机系统构成与功能	245
§ 3.2 计算机直接控制	249
§ 3.3 机器人群控技术	252
§ 3.4 智能机器人	253
第四节 机器人仿真技术	254
§ 4.1 系统仿真	254
§ 4.2 动力学建模仿真算法	255
§ 4.3 机械手动力学仿真实例	262
§ 4.4 协调控制仿真实例	265
附录 1 等效旋转变换原理	270
附录 2 凯恩算式	275
思考与练习题	279
参考文献	288

第一章 绪 论

第一节 机器人由来与定义

§ 1.1 机器人由来

早在公元前3世纪古希腊神话中的科幻人物“太罗斯”被描述为一个国王的卫士，青铜的身体、盔甲装备、刀枪不入、力大无比、巡逻于克里特岛上、能扔石沉船、能灼热自身、烧杀来犯之敌。我国宋代科学家沈括在“梦溪笔谈”一书中，也记载有一个“自动木人抓老鼠”的故事，故事“人物”木刻钟馗，能左手扼鼠，右手持铁简毙之，身高三尺，动作灵巧。此后，于1879年法国小说“未来的夏娃”中的美丽工人“阿达里”；1893年加拿大设计制造的“人工造人——安德罗丁”(Androiden)等，都是构思精巧，外形似人的古代“机器人”。

北京故宫博物馆的钟表陈列室里，许多18~19世纪英、法制造的钟表木偶人，形态各异，会弹琴鸣时、击鼓吹箫、戏熊耍杂、能倒立、变魔术、能蘸墨挥毫“八方向化、九土来王”八个汉字，工整自如，井然有序。其手臂左右、上下、前后等书写动作，均由上发条的齿轮传动一组精巧设计的凸轮，通过拉杆来完成。这组凸轮是按照八个汉字的笔划动作设计加工的。这些就是具有记忆功能的动作再现型全机械式木偶机器人。

当然随着时间的推移，人们对“机器人”赋予更新的设想和功能要求，其名词本身也就有更深入的含义。

目前所用“机器人”(Robot)这个词，出自于捷克作家卡雷尔·查培克(Karel Čapek, 1890—1938)于1920年编写的《罗莎姆万能机器人公司RUR(Rossum Universal Robot)》剧本中的主人公的名字。他是一个像人模样的机器人，被描写成“有劳动力、没有思维、外形似人、被用来替人做苦力劳动和日常杂活的奴隶。”“Robota”捷克语意思是劳役、苦工或斯洛伐克语“Robotnik”意指“劳动者”一词。该剧本于1921年1月在布拉格首次上演，立即轰动全捷克，并很快流传国外。1924年7月在日本筑地小剧场上演此剧。当时的幻想人物，在40年后(约1961年)美国AMF公司(美国机械铸造公司)和Unimation公司分别推出Versatron(“多用搬运”之意)和Unimate(“万能伙伴”之意)两种程序控制的自动传送装置，以称谓“工业机器人”(Industrial Robot)投入市场，使机器人开始走向实用阶段，标志着第一代机器人的诞生。

§ 1.2 机器人定义

由于机器人学是近20年才发展起来的一门交叉性学科，它涉及到电子学、计算机科学、控制理论、传感器技术、机械工程、仿生学、人工智能等学科领域，工业机器人本身是“机电一体化”的典型装置，是工业生产高度自动化的必需设备，并且当前发展非常迅速，世界各国对机器人“Robot”的定义却各有差异，且都有一定的局限性和不够确切之处，下面略举一、二，以供理解。

英国机器人协会(BRA)的定义是：“一种可重复编程的装置，用以加工和搬运零件、工具、特殊的加工器具，通过可变的程序流程以完成特定的加工任务”(A reprogrammable device designed to both manipulate and transport parts tools or specialized

manufacturing implements through variable programmed motions for the performance of specific manufacturing tasks)。

美国机器人学会(RIA)的定义为：“一种可编程的、多功能操作手，用以搬运材料、零件、工具或专用设备，通过可变的程序流程，以完成多样化的作业任务”(A programmable multifunction manipulator designed to move materials, parts, tools or specialized devices through variable programmed motions for the performance of a variety of tasks)。

美国国家标准局(NBS)的定义是：“一种可编程的在自动控制下完成某些加工任务或动作(locomotion)的机械装置”(A mechanical device which can be programmed to perform some task of manipulation or locomotion under automatic control)。

日本工业标准(JISB 0134—1986)采用了已取得各国大致同意的定义：“机器人是一种机械装置，在自动控制下，能够编程完成某些操作或者动作功能”(A robot is a machine which can be programmed to perform some tasks which involve manipulative or locomotive actions under automatic control)。

最近联合国标准化组织基本上采纳了美国机器人协会的提法，定义为：“一种可重复编程的多功能操作手，用以搬运材料、零件、工具或者是一种为了完成不同操作任务，可以有多种程序流程的专门系统”(A reprogrammable and multifunctional manipulator, designed for transport of materials, parts, tools or specialized systems, with varied and programmed movements with the aim of carrying out varied tasks)。

在我国，习惯于把工业机器人称为(操作)机械手，只在近几年才使用机器人(Robot)这一名词。目前来看“机械手”和“工业机器人”的含义也有所区别，一般把附属主机设备、动作简单、操作程序固定、定位点不能任意改变、用来重复抓放物料或夹住工具的操作装置称为“机械手”；而把有独立机构和控制系统、工作自由度较多、动作复杂、功能强、程序流程可变、能任意定位、自动化程度高的自动操作机械装置称为“工业机器人”。

尽管各国定义不同，但基本上指明了作为“机器人”所具有的三个共同点：

1. 是一种机械装置，可以搬运材料、零件、工具，或者完成多种操作和动作功能，也即具有通用性，这是“机器人”所必须具备的；

2. 是可以再编程的，具有多种多样程序流程的，这为人-机联系提供了可能，也使之具有独到的柔软性。

3. 有一个自动控制系统，可以在无人参与下，自动地完成操作作业和动作功能。当然，自动控制系统完善程度会有很大差别，但是作为程序系统和动作机构的协调系统，具有检测、判断、调整等功能是无疑的。

第二节 机器人分类

机器人的分类相当复杂，几乎没有一种分类可以满意地将各类机器人均包括在内，目前多数的分类只能按各特征性能来考虑，如日本 JIS 所提供的分类法，按自动控制系统自动化功能层次，可分成如下 8 类：

1. 操作机器人(Operating Robot)：通过人的直接操作，能控制完成部分或全部作业的机器人。这是最低级的机器人，按目前机器人的定义来看，尚属有些“不够格”的；

2. 顺序控制机器人(Sequence Control Robot):能按照预先假定的信息(顺序、条件、定位等)逐步进行各步骤动作的机器人;

3. 示教(动作)再现机器人(Playback Robot):通过示教操作向机器人传授顺序、条件、位置和其他信息,然后,机器人能按照所存贮的信息,反复再现示教动作;

4. 数控机器人(Numerically Controlled Robot):通过输入程序、条件、位置和其他信息的数值与语言,然后机器人可按照所存贮的信息,重复实现操作;

5. 传感控制机器人(Sensory Controlled Robot):利用传感器反馈信息控制动作的机器人;

6. 智能机器人(Intelligent Robot):凭人赋予的智能决定行动的机器人。这里的智能包括认识、识别能力、学习能力、思维推理能力、适应环境能力等;

7. 适应控制机器人(Adaptive Controlled Robot):是一种具有自适应控制功能的机器人。这种自适应控制功能是指为适应外界环境、系统参数等条件变化,而使控制所要求满足的条件也随之变化的控制功能;

8. 学习控制机器人(Learning Controlled Robot):是一种具有自学习控制功能的机器人。该功能是指能根据工作经验、推理等进行恰当工作的控制功能。

目前,就工程科研人员研究的机器人大致分为两大类。

其一,是“工业机器人”,用来代替人们进行重复操作,作为一种“动物型”的自动化机械装置。

其二,是侧重于仿生学的研究,主要引入学习机能以及生物有利习性的“人工智能机器人”。

而工业机器人又可按基本特征:机械操作手个数、运动自由度数、传动系统和控制系统形式、精度等级和执行机构形式等划分如下:

1. 按机械操作手个数可分为具有一个、二个或多个机械操作手的机器人,后者又分为(1)具有分立传动和控制的;(2)具有分立传动,有相关联控制的;(3)具有集中传动的机器人。

2. 按动作形态区分有:(1)按自由度个数分为:(a)无冗余自由度的。包括具有2个、3个或多个(4-6)运动自由度的机器人;(b)有冗余自由度的。其独立自由度数必须 ≥ 7 个。它们又均可分成固定式或可动式两类。(2)按坐标型式分为:(a)笛卡尔坐标型;(b)极坐标型;(c)圆柱型和(d)多关节型。

3. 按机械手工作范围的形式可分为:(1)在平面上工作的;(2)在表面上工作的;(3)在平行六面体内工作的(直角坐标系空间);(4)在圆柱体内工作的(圆柱坐标系空间);(5)在球形体内工作的(球坐标系空间);和(6)上述各形式的综合区域内工作的机器人。

4. 按负载能力来分有:(1)超轻型(抓重小于100 g);(2)轻型(抓重在0.1~10 kg,动作范围为0.1~1 m³);(3)中型(抓重在10~100 kg,动作范围为1~10 m³);(4)重型(抓重在100kg~1 t,动作范围为10 m³以上);和(5)超重型机器人(抓重在1 t以上)。

5. 按机械手和行走器的传动类型分有:(1)气动传动;(2)液压传动;(3)电气传动;和(4)复合式传动机器人。

6. 按控制系统的形式来分。(1)按控制原理分为:(a)程序控制;(b)传感器控制;(c)非适应控制;(d)适应控制;和(e)智能控制机器人。(2)按各自由度运动实现分为:(a)连续控制;(b)离散控制;(c)点位控制;(d)循环式控制;和(e)复合式控制机器人。(3)按

同时控制机器人数目分为:单个控制和群控两种。(4)按控制机构分为:(a)非伺服的开关型与数控开关型以及(b)伺服型两类。

7.按精度级别可分为定位精度0、1、2、3级的机器人。

8.按工作类型可分:(1)通用型;(2)防尘型;(3)过热保护型;(4)防爆型;和(5)开发型机器人(包括海洋开发机器人、宇宙开发机器人等)。

第三节 机器人发展与展望

§ 3.1 机器人发展史

自1954年美国G.C.Devol发表“通用重复型机器人”专利论文和1958年美国Consolidated发表“数字控制机器人”论文,揭开了研制机器人的序幕以来,大致经过三代的演变,即:

第一代是顺序控制的,不具有感觉装置(传感元件)的机器人。它是以1962年AMF公司和Unimation公司的“Versatran”与“Unimate”为起始产品,目前已经普及化,它是依靠人们给予程序,能重复进行多种操作的系统。由于其不具有传感器的反馈信息,因此不能在作业过程中从外界不断获取信息,来改善其自身的行动品质,故应用范围和精度受到限制。

第二代是具有简单的传感器反馈信息的机器人。它有若干传感器,能对自身的实际位置、方向、速度、力、滑觉等进行测量,能通过“视觉”、“触觉”等传感能力对外部环境进行实际探测,从而由这些反馈信息在事先编好的算法和程序指导下对操作过程进行调整。它与这几年迅速发展起来的传感器、微机技术和仿生学、控制理论等有密切关系,其研究的关键技术是“视觉”和“触觉”,目前还未能达到完善的实用阶段,尚有待于进一步研究和开发。

第三代机器人是能感知外界环境与对象物,并具有对复杂信息进行准确处理,对自己行为作出自主决策能力的智能机器人。它能识别景物;有触觉、视觉、力觉、听觉;味觉等多种感觉;能实现搜索、追踪、辨色识图等多种仿生动作;具有专家知识、语音功能和自学习能力等人工智能。

智能机器人除了有似人的外形和动作远比活动玩具灵活以外,还必须具备如下功能:

1.手功能:能对外界物体进行操作。其动作不同于简单的专用自动化设备,而是具有多样性、通用性和柔软性;

2.足功能:能在外界环境中自动移动。它不同于以往固定于地面的“植物型”机械设备,而是能主动地工作于相应环境内的新一代“动物型”机械;

3.感知功能:具有认识环境与物体,并利用这些信息,作自治动作的能力;

4.记忆功能:能记忆所示教过的动作信息,并再现这些操作;

5.思考功能:对状态变化能自主地作出与之相适应的行为决策和规划。

智能机器人的结构框图可由图1.1来表示。

§ 3.2 智能机器人技术展望

目前还没有能满足上述全部功能的高水平智能机器人,具有个别功能的低智能机器人也只是在核工业、水下、爬壁等特殊环境中应用。由于高智能机器人开发的技术要求高、难度大,并受到计算机、控制理论、人工智能等相关技术和学科发展的制约,至今尚处在实验室研究阶段,有待于某些关键技术的突破。未来机器人技术的新发展,将从以下几个方面开展。

一、操纵臂新动向

1.高速操纵臂:可以大大提高机器人的工作效率。为此,必须开展新的手腕机构和随动

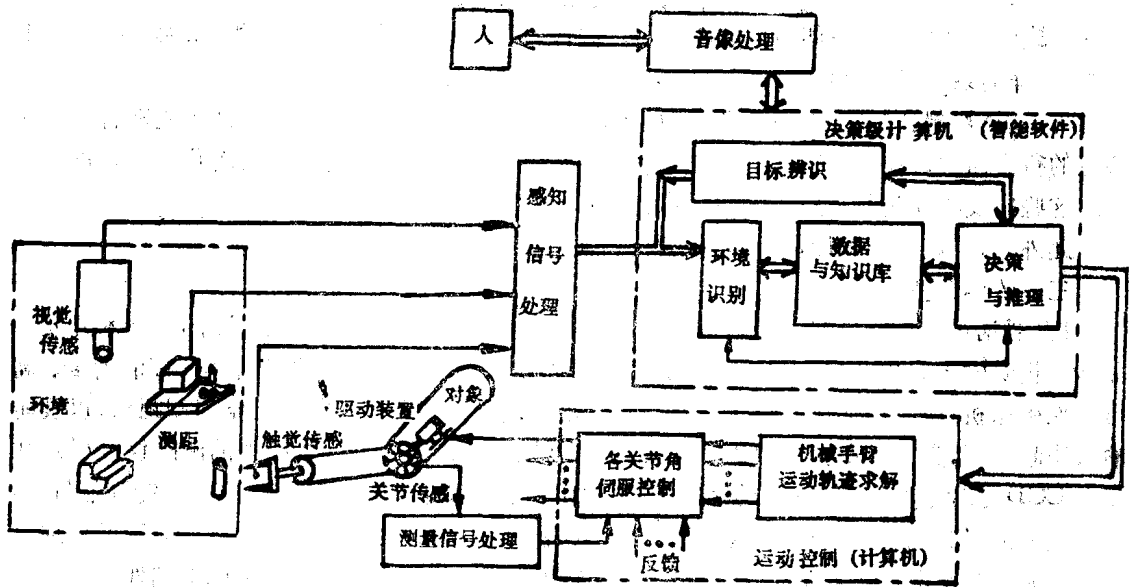


图 1.1

装置,以及能适应于机械手臂高速运动的变惯量动态控制方法等研究。

2. 柔性操纵臂:现有的操纵臂自身重量要比能握重量大得多。如抓臂自重 30 kg,可搬重量还不到 1 kg,这和人臂相比要小得多,其原因除了还没有出力大的关节驱动装置以外,还缺乏用轻质材料研制可搬重量远比自己重大的柔性操纵臂。

3. 超多自由度操纵臂:人手所具有的自由度达 27 个之多,与此相比,现有操纵臂的自由度就太少了,必然不可能在狭小工作区域内灵活作业。因此,必须研制相当于人的手臂更实用的超多自由度机械手臂。

4. 高精度、多自由度力控制操纵臂:目前对自由度较少的操纵臂进行力控制,其精度可达到几克,可用来完成磁磁盘组装作业,但是对于多自由度操纵臂的力控制,其精度立刻下降到几十克。为此,必须进一步对多自由度操纵臂的高精度力控制开展研究,才有可能在更复杂状况下完成精密组装作业,大大扩大智能机器人应用范围。

5. 微型操纵臂:在直接切割生物细胞和处理 DNA 过程中,提出了能在显微镜下进行作业的微型操纵臂新研究课题。当然,与之相适应的还要求有非常精密的测量技术和解决高难问题的理论与方法。

二、移动装置——“动物型”机械的必备机构。

1. 新型移动机构:目前采用的是只适合于平地移动的小车和履带机构。为了能适应于登高,在凹凸不平的道上行走,在狭小的压力容器内挪动,或在深水或海底移动,必须开展对新型移动机构的研究,如 2 脚、4 脚及多脚移动机构,电磁吸盘和多关节蛇形干体机构等。

2. 移动信号传感技术:现在移动式机器人多数是判断引导式的。而智能机器人应能对环境感知,并自治行动。为此必须有强的视觉功能,并能对移动环境图像的快速识别。同时,如触角式触觉传感器和高精度激光陀螺仪等轻量、小型的位置、姿态传感技术的研究也极为必要。

3. 移动路径的智能决策:它不同于用动态规划等方法来求取最小路径。而是指能对移动环境的各种情况作出综合性判断的智能决策,这对任何机器人都将极为重要。

4. 人-机协调控制: 复杂的移动装置仅仅靠计算机来控制是有困难的, 即使可以做到, 也由于缺乏对环境的适应能力而并不实用。因此, 可以设想由人-机(计算机)来协调控制行走机构, 这样的系统可能更切合实际又较恰当, 这必定是一个新的研究方向。

5. 选择控制: 在多个自由度的移动控制中, 较有希望的是合成控制。即预先准备好某些特定的行走曲线, 在控制时再选择出适合于相应环境状态的最合适的行走动作合成来进行控制。这些曲线必须是行走可靠, 并且各关节为最佳组成。

此外, 为了获得行走最佳动作, 移动机器人用的语言开发也很重要。

三、传感器技术

1. 视觉对于智能机器人无疑是极为重要的。它有求于硬件、软件两方面的新技术开发。如(a) 视觉输入采用由电荷耦合器件(CCD)等固体摄像单元组成的高分辨率、高清晰度、高可靠性摄像机; 或者用适用于彩色、红外线光、紫外线光等各种波长的三维空间测距仪; 以及能输入明暗数据, 类同于电视摄像机一样具有实时性、高清晰度、高分辨能力的测距仪。(b) 如果在 CCD 芯片上能进行图像数据输入以及能作一定程度运算的新颖传感器有可能降低价格和普及的话, 加上高性能微机一起使用于机器人视觉上, 将有可能高速地进行实时图像处理。(c) 目前的图像识别技术作为智能机器人视觉功能还不十分完善。若把图像识别理解为是把对象模型和从图像中抽取出来的特征相对照的过程, 那么要对三维对象模型进行对照, 将有很多课题有待开发。如利用 CAD、CAM 数据库, 对设计、制作的对象一边用视觉来辨别, 一边进行操作等。(d) 手臂和眼睛的协调作业目前水平很低, 只是眼睛作坐标检测器, 让手向检测方向移动的直接结合方式; 而不是像由眼睛追踪一个球, 而手按照眼睛得到信息, 来接住运动中球那样的柔性协调。后者的关键技术是必须由描述手眼协调动作的计算机语言和实现这种协调的并行处理计算机的介入。

2. 接触觉与其他传感技术。(a) 人们对外界刺激的反应, 相应于不同情况由多种途径产生。如感觉器官 \Rightarrow 脊髓或小脑或大脑 \Rightarrow 功能器官, 形成各种闭环来作出反应。我们对接触觉的探求也正是这种柔软的阶层控制机构。(b) 目前的加速度计、压力计、气体色谱分析仪等微型传感器均采用 IC 技术来制造, 具有体积小(如压力计每边仅 0.5 mm)、可靠性高, 价格便宜等优点。若把必要的运算电路也制造在一起, 并装入手内, 在每个手指关节上均贴上这类高可靠性传感器, 必将会引起控制技术领域内新的变革。

四、新一代计算机

1. 分布式计算机: 人类的行动是高度分散处理并且是平行完成的。如乒乓运动, 人的手、足、眼甚至整个身体均在同时分散地作适当动作处理。而以往的工业机器人都是采用一台计算机来分时操作, 因此, 由于受到处理速度等限制, 要完成高性能的装配工作就很困难。在智能机器人系统中, 通常有许多具有高速处理的子系统。例如, 需要以伺服速度来进行相当数量坐标变换运算的操纵手臂子系统; 能实时处理大量图像信息数据的视觉子系统; 存贮着机器人作业环境和工作内容等“智能常识”, 必要时可随时存取的具有庞大存贮容量的知识数据库子系统等。它们分别承担有各自的功能与动作控制, 如何控制这些子系统分散地并行处理, 特别是相互间的通讯就成为分散处理中最大问题。

2. 机器人操作系统(OS): 计算机中 OS 对增强操作功能、提高利用率起到很大作用。将它直接用到机器人上未必能行, 因为它的对象是运算装置、文件、特性、已知的 I/O 设备等。而机器人 OS 的对象应该是操纵手臂、移动装置和人工智能, 要求很强的实时性和相当大的多样性和模糊性, 因此必须有针对性地开发机器人 OS, 尽管这方面研究工作刚刚开始, 概念尚未明

确,但随着机器人语言和微机的显著进展,必然会加速实现机器人 OS。

五、人工智能

1. 人工智能对机器人重要贡献之一即机器人规划。而目前所能做到的是先设计出一个动作序列规划,以便由机器人按照这一规划去完成。由于目前计算机处理的知识量有限,不能处理实空间(真实环境)的规划问题。例如图 1.2 所示不同内容的阀体分解作业,即使对象物已被限定为阀体,根据操作目的(分解的那一部分)或对象物所处状态(阀体向下)等情况。其操作顺序和方法也就不同。图(a)是检查内部的接合处,就没有必要将“把轮”拆下;而图(b)是检查衬垫材料,只要拆下“把轮”就可以了。只有将该“常识”类的智能大量存入计算机,才有可能完成由机器人组成的实空间中的自治作业。

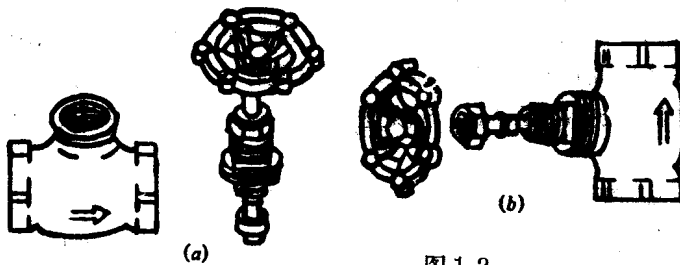


图 1.2

2. 目前的计算机系统能对杯子、桌子等形状一定的物体建立模型或进行装拆,却难以对橡胶电缆、皮带、纸、布等形状不固定的物体进行“外形模拟”、力觉操作、控制方法的开发等工作。因此,尚不能让机器人来镶嵌汽车门的衬垫或安装发电机的传动皮带等。

3. 机器人知识库是由现代机器人向真正智能机器人进化的必要条件之一。它必须存有零部件或工夹件等作业环境、操作顺序实空间与规划知识等大量信息,还必须有与作业环境变化有关的管理数据库和实时管理技术,为了完成更高级的作业,还应该存有由视觉等传感器已经获得的大量数据。若能把这些多种多样的大量数据有机地结合起来,开发成知识数据库,机器人就有可能完成动作与感知相结合的智能操作。

六、示教技术

1. 机器人综合语言:现在开发成的如操纵手臂语言、视觉语言等只是针对机器人个别机能的,但实际作业要求能柔软地、有机地组合有各种功能,为此必须开发机器人的综合语言。该类语言是把机器人操作系统和机器人知识数据库完整地结合在一起的一种特别语言体系。

2. 智能主-从操纵器:主-从操纵器作为机器人原始状态之一,在初期就被采用。它有直观、操纵容易、适用于特殊环境作业等优点,但其性能并不良好。若把智能机器人技术引入到主-从操纵器中,使其具有局部的智能,从动一侧可以由自律行为完成动作跟踪。而那些非通过示教无法进行又事关大局的顺序和判断,就由人直接来进行,这是具有智能的机器人与人协作完成高难作业的一种新系统。

第四节 机器人应用与未来

§ 4.1 机器人应用特点

自 60 年代以来,美国、日本等世界各国在工业机器人的研究、制造、生产、应用等方面投入了大量的人力、物力,并得到迅速发展。对人类社会产生巨大的经济效益。

1. 工业机器人能高强度地、持久地在各种工作环境中从事单调重复的劳动,使人类从繁重体力劳动中解放出来。人在连续工作几小时以后,特别是重复性单调劳动,会觉得疲劳和厌倦,工作效率将下降,出错率随之上升。而机器人在正常的额定工作条件下是不受时间限制的(定期维修除外)。例如汽车制造行业里总装配工序中的点焊、拧螺丝等工作量极大(每辆汽车有上千个焊点),又由于采用传送带流水作业速度快、上下工序衔接严格、人工操作过分紧张而很容易感到疲劳,采用机器人作业,就解救了人类。

人一般只能搬运和自身体重大致相同的物体,而一个采用液压传动的大型机器人可搬运几百公斤甚至一吨的大型工件,正可谓是力举千斤的“大力士”。

2. 机器人对工作环境有很强适应能力,能代替人在有害场所从事危险工作,只要根据工作环境的情况,对工业机器人的用材和结构进行适当选择,并进行合理设计,就可以在异常高温或低温、异常压力场合、在有害气体、粉尘、烟雾、放射线辐射等环境中从事操作作业。也可以由机器人来代替人从事灭火、消爆、排雷、高空操作等危险作业,能保障人类安全,降低工伤事故。为此,目前世界各国首先在冲压、压铸、热处理、锻压、喷漆、焊接、军工、水下作业等工种中推广使用。

3. 机器人具有很广的通用性。以往在加工自动化机械加工装置中,较多使用适合于某一产品或某一固定工序的专业设备,一般自动化程度越高,专用性越强(例如缸体加工的专用钻床、镗床等),以满足大批量生产的需要。而现代社会,对产品需求除数量外,更重要的是规格品种多样化,品种型号的不断更新。而工业机器人由于动作程序和工作点定位(或运动轨迹)可灵活改变和调整,并且具有较多运动自由度,能迅速适应产品改型和品种变化的需要。以及满足中、小批量的生产。例如当今汽车制造业,由于新产品层出不穷,要求车型改变快、投产周期短,使用工业机器人的汽车生产线就能通过程序流程、工位参数的修改等,容易地满足焊点位置、焊点数和焊点顺序的迅速更改。

4. 机器人具有独特的柔软性。产品中、小批量生产的又一特点是要求生产线具有柔软性,成为能适应加工多种零件的柔性生产线。日本从1980年以后,要求产品更新换代快,并且逐渐转向多品种中、小批量生产,而工业机器人正具有这种独特性能——柔软性。因此,日本把1980年(昭和55年)称为“工业机器人元年”。并提出了工厂自动化(FA——Factory Automation)、办公室自动化(OA——Office Automation)和家庭自动化(HA——Home Automation)的所谓“3A”革命口号。在工厂自动化中重要的是发展无人化的柔性制造系统(FMS——Flexible Manufacturing System)。例如图1.3所示FMS由电子计算机(多级)、数字控制加工中心(多台)、机器人(多种类型)、搬运小车,以及自动化仓库等组成。它可以通过软件调整等手段加工多种零件,可以灵活、迅速实现多品种中、小批量生产。因此工业机器人在柔性生产系统中是极其重要和必不可少的。

5. 机器人动作准确性高,可保证产品质量的稳定性。由于机器人操作精度是由它本身组成的软、硬件所决定,不会受精神和生理等因素影响,更不会因紧张、疲劳而“偷懒马虎”,能保证动作的准确性。一些高、精、尖产品,如大规模集成电路的装配等,非机器人所莫及的。目前,精密装配机器人定位精度可达 $0.02\sim 0.05\text{ mm}$,装配深度为 30 mm ,配合间隙在 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下轴配合,若采用触觉反馈和柔性手腕,允许轴心位置有较大偏离(5 mm)时,也能自动补偿,准确装入零件。

6. 采用工业机器人可以明显提高生产率 and 大幅度降低产品成本。例如日本山崎机械公司采用由18个机器人和数控机床加工单元组成的生产精密机床自动化系统,30天完成原人

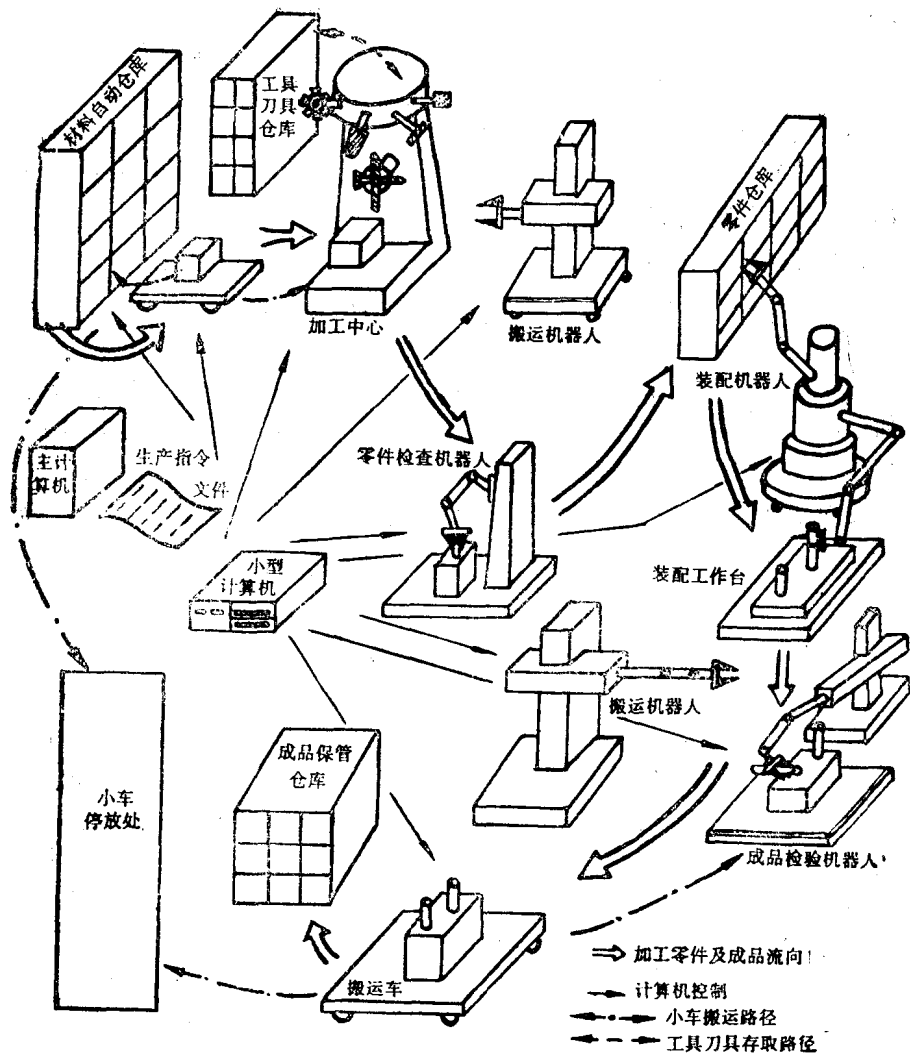


图 1.3 PMS 构成及工业机器人应用

工操作的三个月生产任务；两年回收全部投资(1800万美元)；美国通用电气公司某机车制造厂的柔性加工系统，生产率提高 15 倍。采用机器人可节省材料和能源消耗、提高成品率，节约因产品换代、改型等因素造成的原专用设备的大量改造费用。

§ 4.2 人类的未来伙伴

“机器人是高技术、尖端技术的成果，是新的技术革命的重要内容之一……。假如我们现在不对机器人下功夫，最近几年还看不出有什么影响，到下一世纪就吃大亏了。所以从国家看，这是一个高技术问题，涉及到国家前途。再深一点论，没有机器人，到 21 世纪我们在各个领域的生产就达不到世界先进水平。现在有一种说法，机器人要代替人，人要失业了。这是蠢话，恰恰相反，没有机器人，人就做不出高质量的产品。因此，是人需要机器人，而不是机器人代替人。”

“机器人有人工智能因素，这涉及到第五代计算机。我们认为对第五代计算机有两种理解，一种是从计算速度角度考虑，认为它是巨型机的发展，像克雷—I、赛佰—205等是第一代巨型机，第五代计算机可作为第二代巨型机。还有一种理解，不是从计算速度而是从机器有智能