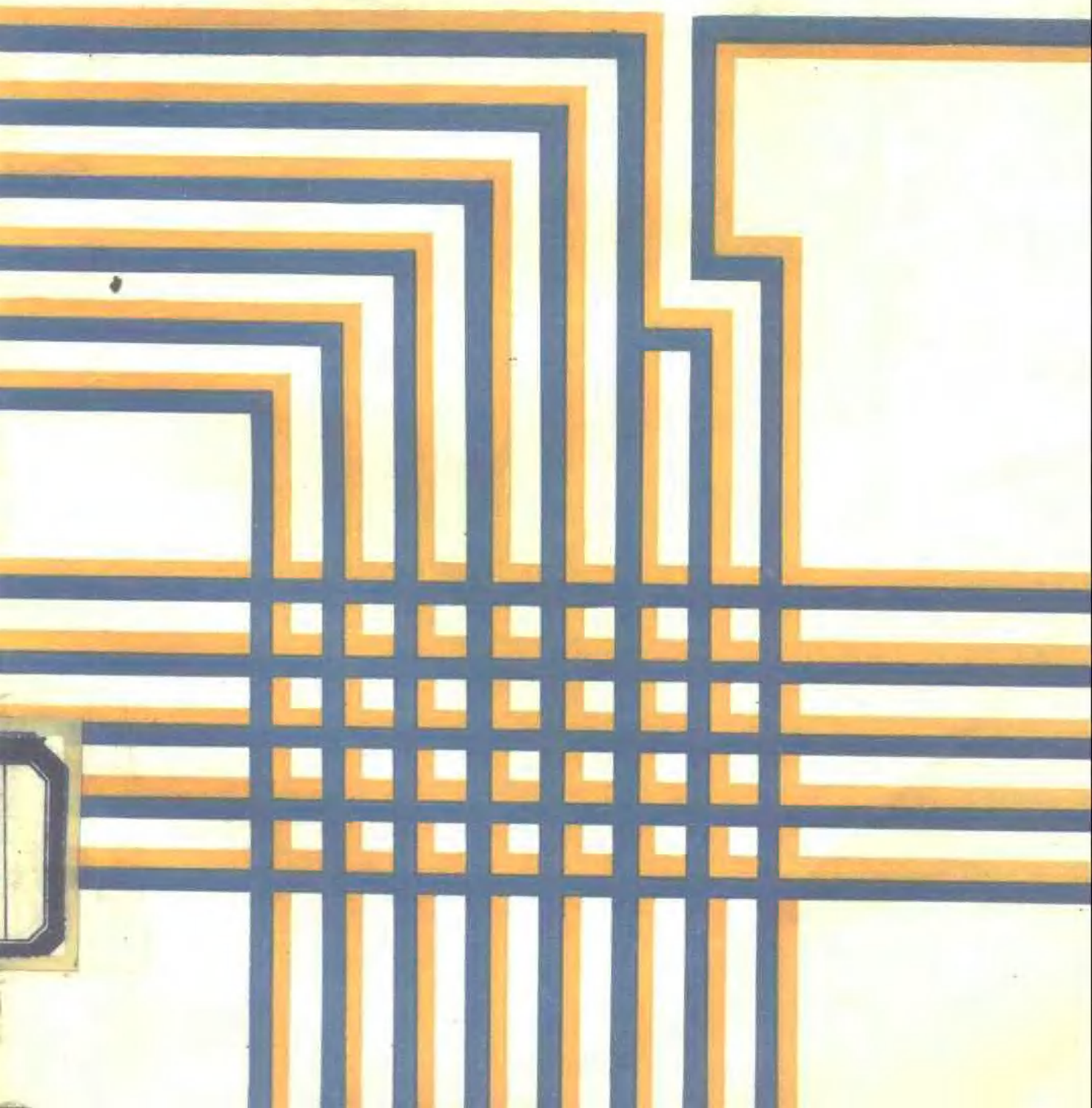


机器人应用技术

孟繁华 编著

哈尔滨工业大学出版社



71285
L

机器人应用技术

孟繁华 编著



哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书系统地论述了机器人的基本理论及其应用技术。书中对机器人应用技术,从设计的角度,介绍了机械手的结构与控制,行走机腿与控制,各种传感器与人工智能,此外对驱动机构,特别是对气压驱动与液压驱动机器人执行机构的设计实践与最新研究成果也作了系统的讲述。

本书可作为机械、电气以及流体传动专业研究生的教材与参考书,也可供从事机器人研究与设计的工程技术人员参考。

机器人应用技术

孟繁华 编著

哈尔滨工业大学出版社出版
新华书店首都发行所发行
哈尔滨建筑工程学院附属印刷厂印刷

开本787×1092 1/16 印张15.875 字数307000

1989年6月第1版 1989年6月第1次印刷

印数1—1500

ISBN 7-5603-0144-4/TP·11 定价3.00元

前 言

机器人应用技术是机械与电子学相结合的典型技术，目前它已在工业领域中占有非常重要的地位。以往的机器人技术可以说多数是在已有的工业技术基础上拼凑起来的，所以它无法满足高性能的要求。目前为了发展第2代以及第3代更高级的机器人，除了提高其智能性与发展控制技术外，硬件的发展也是极其重要的。特别是开发具有良好性能的执行机构、传感器及各种结构元件是实现机器人高度操作机能的关键。

本书的内容并不是机器人的一般入门与概论，而是在收集了国内外最新资料的基础上，对上述的机器人应用技术的最新内容，从结构与设计的角度进行比较详细的介绍。重点讲述了机械手的结构与控制、移动机能与行走控制、各种传感器与人工智能，此外对驱动机构，特别是对气压驱动与液压驱动机器人执行机构的设计实践与研究的最新成果也作了系统的讲述。

本书可作为机械、电气及流体传动与控制专业的研究生教材及参考书，此外还可供从事机器人研究与设计的工程技术人员参考。由于编者的水平所限，书中不足之处希广大读者批评指正。

在本书的编写过程中得到了哈尔滨工业大学流体传动与控制教研室的同志们多方面支持与帮助，在此表示深切的谢意。

编 者

1988年3月

目 录

第一章 机器人的概述	(1)
§ 1-1 机器人的地位	(1)
一 机器人的定义与机器人技术.....	(1)
二 机器人的研究课题.....	(2)
§ 1-2 机器人中的主要技术	(3)
一 机器人的发展目标是自动作业机器人.....	(3)
二 构成自动作业机器人的主要技术.....	(4)
§ 1-3 工业机器人的分类及应用范围	(4)
一 工业机器人的分类.....	(4)
二 工业机器人的应用范围.....	(5)
第二章 机械手的结构与控制	(7)
§ 2-1 绪言	(7)
§ 2-2 机械手的结构	(8)
一 机械手的结构概述.....	(8)
二 齿轮传动多自由度机械手.....	(9)
三 马达直接驱动式力矩控制机械手.....	(11)
§ 2-3 机械手控制的基本概念	(14)
§ 2-4 自适应控制的应用	(16)
一 参考模型自适应控制.....	(16)
二 机械手的动力学模型.....	(17)
三 自适应控制系统的组成.....	(18)
§ 2-5 假手的学习控制	(21)
一 控制级.....	(21)
二 调节级.....	(23)
三 组织级.....	(24)
§ 2-6 利用机械手进行装配作业中的问题	(25)
一 作业内容的分类.....	(25)
二 技术水平的分类.....	(25)
§ 2-7 用机械手进行装配作业	(26)
一 装配作业中的误差.....	(27)
二 装配作业的柔软性.....	(28)
三 模糊对中的柔软性(RCC)	(28)
四 RCC 的应用实例.....	(30)

§ 2-8 机械手的力控制	(31)
一 位置和力的混合控制	(31)
二 约束条件与坐标系	(31)
三 混合控制器	(32)
四 2 自由度机械手的控制	(33)
§ 2-9 人臂形机械手的控制	(36)
一 人臂形机械手的运动方程式	(37)
二 以力反馈进行手指的自适应控制	(39)
三 插孔作业的控制	(40)
§ 2-10 机械手的遥控技术	(43)
一 远距离操作技术中存在的问题	(43)
二 遥控操作	(44)
三 有时间迟后的力反馈位置控制	(44)
四 有时间迟后操作时MS方式与RMRC方式的比较	(46)
五 结论	(48)
§ 2-11 机器人手臂的改进形粗控制方式	(49)
一 用估计、测定力矩的控制方式	(49)
二 计算机模拟	(51)
§ 2-12 控制的高速化	(53)
一 由作业空间到关节角的坐标变换	(53)
二 位置指令型控制	(54)
三 力矩指令型控制	(55)
四 今后的发展趋势	(57)
§ 2-13 机器人手部举例	(58)
一 前言	(58)
二 抓取农产品的多手指夹头	(58)
三 多手指夹头的把持动作	(58)
四 多手指夹头的结构	(59)
五 多指夹头的抓取实验	(60)
六 安装用夹头的成本计算	(60)
七 各种装配用夹头	(61)
八 夹头的经济性	(62)
九 夹头的适应性	(64)
第三章 移动机能与行走控制	(64)
§ 3-1 移动机能的重要性与分类	(65)
§ 3-2 移动机器人的路径引导方式	(65)
§ 3-3 移动机器人的传感器	(65)
一 自己认识位置方向的传感器	(66)

二 光学位置方向传感器	(66)
三 用工业电视的位置方向传感器	(67)
四 超声波传感器	(71)
§ 3-4 动物的行走	(73)
一 自己控制行走的自动机	(73)
二 有限状态的自动机	(76)
§ 3-5 多脚行走	(79)
一 步行过程的一般分析	(79)
二 步行系统的一般特点	(80)
§ 3-6 6足步行的其它实例	(81)
§ 3-7 2足步行的稳定性	(83)
一 脚的执行器	(83)
二 简化系统的稳定性	(83)
三 步行系统的稳定性	(87)
§ 3-8 人——机器人系统	(89)
一 脚掌的力分析	(89)
二 装卸作业中的运动动作分析	(90)
三 步行动作的分析	(93)
第四章 传感器	(94)
§ 4-1 机器人用传感器的概况与分类	(94)
一 概况	(94)
二 机器人用传感器的分类	(95)
§ 4-2 机器人用传感器的实例	(96)
一 触觉传感器	(96)
二 压觉传感器	(98)
三 最新的压觉传感器	(100)
§ 4-3 对传感器的评价	(102)
一 视觉传感器的改进	(102)
二 接触传感器的改进	(103)
三 其它传感器的问题点及其改进	(104)
§ 4-4 传感器的信息处理	(104)
一 视觉信息处理	(104)
二 视觉信息处理的硬件化	(109)
三 触觉信息的处理	(113)
§ 4-5 传感器的实用例	(114)
一 焊接的自动化	(114)
二 弧焊用传感器	(115)
第五章 机器人与人工智能	(118)

§ 5-1 机器人与智能	(118)
§ 5-2 人工智能及其有关的研究	(119)
一 学习机械	(119)
二 生成系统	(120)
三 联想记忆	(121)
§ 5-3 机器人回避障碍物与动作规划	(123)
一 前言	(123)
二 移动机器人的路径确定	(124)
三 机械手作业时回避障碍物轨迹的确定	(127)
第六章 机器人的气动传动装置设计	(138)
§ 6-1 气动装置中的气缸(或气动马达)	(138)
一 气缸的特性	(138)
二 气缸特性的简易算法	(142)
三 工业机器人气动装置中的气缸制动	(146)
§ 6-2 机器人的气动控制系统	(152)
一 气动机器人的位置控制系统	(152)
二 工业机器人的力控制系统	(158)
三 气动伺服系统的分析	(158)
§ 6-3 气动行程程序回路的设计方法	(161)
一 概述	(161)
二 气动行程程序回路的设计	(163)
第七章 液压关节式机器人的研究与设计实践	(173)
§ 7-1 液压关节式机器人的发展概况	(173)
一 关节型机器人的发展与使用情况	(173)
二 结构与组成元件	(174)
三 控制与控制装置	(177)
四 液压机器人的应用范围	(180)
§ 7-2 油缸驱动关节式机器人电液伺服系统设计	(180)
一 液压机器人结构及控制的问题	(180)
二 液压关节型机器人控制系统的特性	(181)
三 单一自由度伺服系统的设计	(185)
四 提高液压机器人连续轨迹控制精度的一种方法	(189)
§ 7-3 液压马达关节式机器人电液伺服系统的设计	(196)
一 关节式机器人的软件伺服控制	(197)
二 全液压驱动二足步行机器人	(208)
三 6自由度关节式液压伺服机械手的研制	(214)
§ 7-4 电液伺服系统的简易设计法	(219)
一 电液控制系统	(219)

二 电液控制系统的参数	(220)
三 简易设计法的基础	(220)
第八章 机器人的应用系统	(229)
§ 8-1 工厂生产.....	(229)
一 生产系统的自动化	(229)
二 FMS与移动式机器人.....	(229)
三 FMS的模型	(230)
§ 8-2 宇宙开发.....	(231)
一 未来的“宇宙工厂”	(231)
二 有人遥控作业站(MRWS).....	(232)
三 宇宙作业用双向机械手	(232)
§ 8-3 海洋开发.....	(234)
一 海洋开发与机器人	(234)
二 海中的遥控作业	(235)
三 海中作业的分类	(235)
四 法国深海遥控作业系统	(235)
§ 8-4 原子能工业.....	(238)
一 原子能与自动化	(238)
二 原子能与机械手	(239)
三 遥控作业	(239)
四 移动机能	(240)
参考文献	(242)

第一章 机器人的概述

§ 1-1 机器人的地位

一 机器人的定义与机器人技术

机器人技术是研究机器人工程技术的学问。关于机器人各国有不同的定义，其中一种定义的方法是“机器人是可通过感觉与智能进行作业并具有与人或动物相似的外观和机能的机械”。上述的定义是强调“可进行作业”的性质。而机器人的感觉机能和移动机能只不过是进行作业时必要的辅助机能而已。这里所说的作业并不是单一的简单工作，而是能够进行多种动作的作业。即具有通用性(或柔性)工作的能力。例如，数控机床加工工件的能力虽然很强，但是它不能进行其它的作业，所以不能称它为机器人，此外数控机床的外观也很少有与生物相似之处。

按照上述的定义，机器人的组成如图 1-1 所示。即机器人是由下列几部分组成的。

1. 由作业的手臂和用以行走的双脚构成的“动作机能”；
2. 监视作业进行情况和检测作业周围环境的“传感器”；
3. 根据感觉到的信息和作业情况判断和决定机器人应该进行什么动作的“头脑(人工智能)”。

虽然机器人的模型是动物或人，但是企图给机器人赋予人类那样的高度机能是不可能的。例如，在需要高级的认识与判断的地方，还必须有人帮助，就是非常高级的机器人也还必须进行人机对话才行。图1-1就是说明了机器人和人、机器人和作业对象间的这一关系模式。图1-2是上述关系的详细模式图。

图1-2是具有高度机能的机器人组成与环境信息、控制信息间的传递示意图。

首先，将作业机能分为作业机能与行走机能，上肢担负作业机能，下肢担负行走机能。从强调机器人作业性的角度来看，起主要作用的是上肢，即手指与手臂。以上肢进行作业时，必须实时地将作业状态进行反馈。为此，作业信息是通过装设在上肢上的触觉传感器与起到耳目等作用的非接触传感器进行反馈的。此外还要知道作业对象的位置信息和机器人的周围环境，上述的传感器就是担当这一任务的。

下肢的机能主要是完成行走与机身的保持动作。但是，如得不到地面与壁面的信息，则不会得到满意的行走机能。图中的躯干部，对人来说是收纳内脏器官和保持人身形状的部分；对机器人而言，它是安装用以作业的手臂及能源的，也是非常重要的部分。

进行作业或行走时所需要的信息可分成两部分，一是内部的状态信息；二是包括作业状态在内的外部环境信息。前者用的是内部传感器，后者用的是外部传感器。这些信息都进入机器人的智能部分，根据数据判断后得出行动指令。如果机器人具有学习机

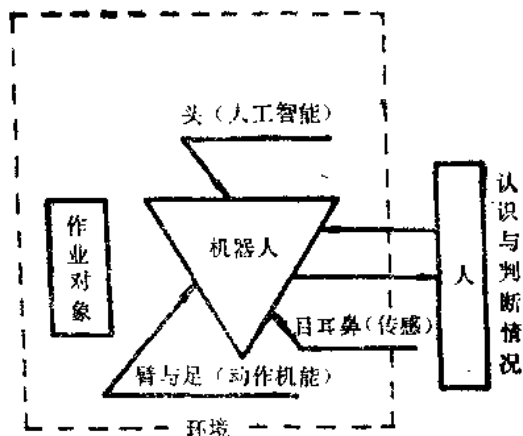


图1-1 机器人的组成

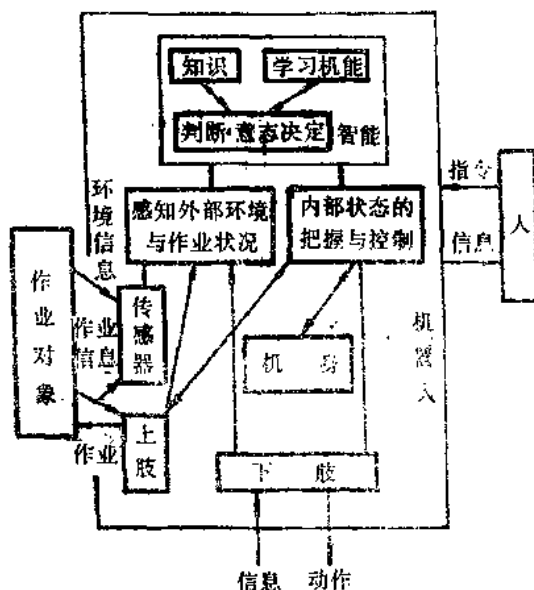


图1-2 机器人的组成与外部的关系

能，那么它的机能就更高了。由于这样的机器人与人类相比其智能还是相当低下的，所以对更高级的信息要完成认识与判断还要依靠人。因此，人还有向机器人发出具体作业以及完成作业的方法与途径指令的作用。

二 机器人的研究课题

如图1-3表示机器人的各个研究领域。

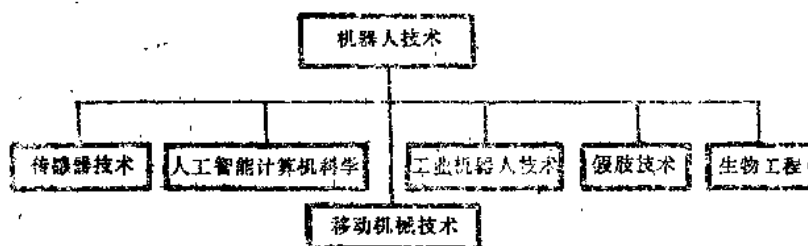


图1-3 机器人技术的研究领域

具体来说，机器人技术是由以下几部分组成的：

- (1) 得到与人类感觉机能相似的传感器技术；
- (2) 得到与人类智能或控制机能相似能力的人工智能或计算机科学；
- (3) 假肢技术；
- (4) 把人类作业技能具体化的工业机器人技术；

- (5) 实现动物行走机能的行走技术;
- (6) 以实现生物机能为目的的生物学技术等。

从事机器人技术研究与设计的人应该具备以上各个领域内的有关知识。

§ 1-2 机器人中的主要技术

一 机器人的发展目标是自动作业机器人

现在用于工业中的工业机器人大部分是固定式并且没有行走机构。今后这种机器人也将占主导地位。但是进行更高级作业的机器人就与此不同了,为了实现高度的机能还必须要有行走机构。但是,目前就是具有高度作业机能的固定式机器人还没有达到实用的程度,如若加上行走机能就使问题更加复杂了。比如说,即使在台阶或凹凸不平的路面上行走的机能解决了,控制技术也没问题了,那么使机器人能进行正常作业所需的能源问题就变得非常重要了。

如上所述,能够行走进行作业并带有能源与控制装置的机器人叫自动作业机器人。在行走范围很小时并不一定需要自动形的,但是为了有效地利用作业能力,还是希望优秀的机器人是自动形的。如把自动作业机器人所消耗的能量定性地与无人工厂使用的无人运输车进行比较,其结果如表1-1与图1-4所示。

表 1-1 自动作业机器人的
能量消耗地点

移动车	无人运输车	自动作业机器人
组成元件		
(1) 移动机构	两轮独立驱动形,汽车形	步行,吸附移动,全方位移动,汽车形等
(2) 传感器	路径引导用,防止冲突用	视觉,听觉,触觉,位置方向感觉等
(3) 控制装置(计算机)	一般没有	微机系统,接口
(4) 作业用手臂机构	没有	机械手
(5) 信息传递装置	基本上没有	有

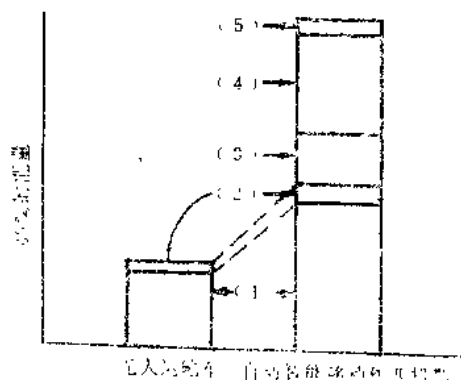


图1-4 自动作业机器人与无人运输车的能量比较

上面只是比较了自动作业机器人中确保能 [(1)~(5)是与表1-1中相对应的]

源的难度与节能技术的必要性,然而对所有的机能来说,如为自动形则问题的难度成倍地增加。例如,视觉认识技术等,如用以前的作法则需要非常大型的计算机与较长的认识时间。当然视觉信息处理过程的各部分正在用信息处理机而逐步得到改善,但是作为自动作业机器人的视觉所要求的实时性与处理装置小型化问题还没有得到解决。操作作业技术也是如此。目前正在研究作业性能高的力矩控制机能的机械手,这与普通的机械手相比必须有大的能源与大量的控制装置。

如上所述,机器人的最高目标是研制自动作业机器人,但是随之也带来了许多难

题,为此与设计普通的计算机控制和机械机构等不同的是尚需要进行热工学与材料学等学科的研究与开发。到目前为止,机器人技术大都是以智能性为中心进行研究的,但是欲研究更高机能的机器人时,就与更广泛的科学领域有关了。

二 构成自动作业机器人的主要技术

前一节概要地介绍了机器人的定义及其主要机能,在此再较具体地说明构成自动作业机器人的主要技术,如图1-5所示。

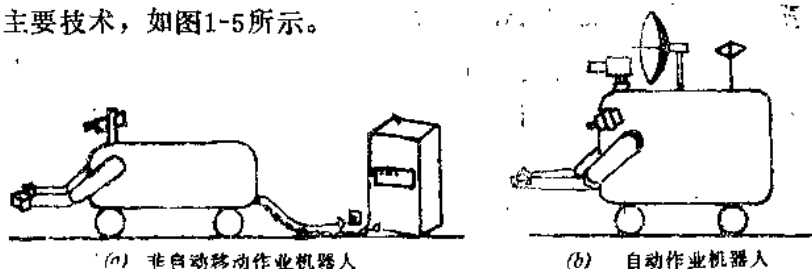


图1-5 非自动移动机器人与自动作业机器人

(a) 非自动移动机器人, (b) 自动作业机器人

这些主要技术是: ① 进行作业的操作技术; ② 使机械手能够接近作业对象而充分发挥作业机能的移动技术; ③ 能获得作业状态、周围环境以及移动环境等信息的传感技术; ④ 处理机械手、移动机能以及传感信息的信息处理技术; ⑤ 以人的高度机能补助机器人的有限认识和判断机能的人机对话技术; ⑥ 以具体形式维持这些机能, 搭载能源, 进而按作业对象去改变手部安装场所等构成的机身技术等。这6种技术是研制自动作业机器人中不可缺少的技术。具体实现上述6种技术的代表性机构与机能如表1-2所示。

表 1-2

自动作业机器人的主要技术

① 操作技术	机械手、手
② 移动技术	全方位移动机构, 台阶升降机构, 步行机构
③ 传感技术	视觉, 听觉, 触觉, 嗅觉, 温湿觉
④ 信息处理·人工智能技术	人工智能, 控制技术, 通讯技术
⑤ 人机对话技术	显示装置, 指令装置, 感觉提示装置, 通讯技术, 电传技术
⑥ 机身	能源, 节能技术, 收纳技术, 材料技术

§ 1-3 工业机器人的分类及应用范围

一 工业机器人的分类

工业机器人的分类方法很多, 而且各国的分类方法也不尽一致, 下面只介绍两种常用的分类方法。

一般按输入信息, 示教方法分类如下:

1. 机械手 具有与人类上肢相似的机能, 可使对象物在空间内移动。

2. 人操纵机械手 由人操纵的机械手。

3. 程序机器人 按预先规定的顺序、条件及位置使动作的各阶段进行下去的机械手。

4. 固定程序机器人 按预先规定的顺序、条件及位置使动作的各阶段依次进行下去的机械手，它是不容易改变给定指令的。

5. 可变程序机器人 按预先规定的顺序、条件及位置使动作的各阶段依次进行下去的机械手，它是容易改变给定指令的。

6. 示教再现机器人 通过预先由操作者使机械手运动进行动作的示教，把其作业顺序、位置及其它信息记忆下来，需要时读出而进行作业的机械手。

7. 数控机器人 按顺序、位置及其它数值信息而进行作业的机械手。例如用穿孔纸带、卡片或数值开关等工作。

8. 智能机器人 通过感觉机能或认识机能可以自己决定行动的机器人。

另一种分类方法是按动作的形态进行分类，即机器人是由什么样的单位动作组成的，其分类如下（结构可参阅图2-2）：

1. 圆柱坐标机器人 运动主要是圆柱坐标形式的机械手。

2. 极坐标机器人 运动主要是极坐标形式的机器人。

3. 直角坐标机器人 运动主要是直角坐标形式的机器人。

4. 多关节机器人 运动主要是由多关节构成的机器人。

二 工业机器人的应用范围

工业机器人是机械技术与电子技术相结合的典型先进技术产品，它在工厂自动化及柔性生产系统等新的生产系统中起着核心的作用。

在最近的五年间，人操纵机械手及固定程序等控制方法比较简单的机器人的应用比例在下降，而相继取代它们的是示教再现机器人、数控机器人及智能机器人等控制方法高级的机器人；这些机器人的应用比例在急剧地增大。

工业机器人目前多数用在制造业中，但是在原子能工业、海洋开发、土木建筑业、服务行业及医疗等非制造业中的利用也在逐步发展。

机器制造业是工业机器人的活动舞台，其中汽车制造业、电气器具制造业、塑料成型加工业及机床制造业等用的较多。特别是在电气器具制造业中，电子元件的装配及向电路板上插入半导体元件与电容器等都大量地使用数控机器人。据统计，1980年以后用于汽车制造业机器人的数量也开始增加了。此外喷涂、焊接及切削加工等的用量也在增长。

机械手的发展历史是相当长的，19世纪40年代出现的原子能用机械手就是其历史的开端。后来随着自动化与电子技术的发展，到目前正是工业机器人发展的全盛时期。在日本，无论是机器人的生产量还是使用量都是世界第一位的。据统计，1984年日本生产各种机器人42000台，目前在各种生产线上使用的有164000台；英国1984年有870台投入使用；而西德据1985年的统计，其使用量已达8500台左右。

我国近几年各科研机关及高等院校也开始了各种用途机器人的研制工作。北京机械

工业自动化研究所研制的液压驱动的有关节式喷漆机器人，浙江大学研制的6自由度关节式液压伺服机械手，哈尔滨工业大学研制的华宇-II型弧焊机器人和东方-I型喷漆机器人等都通过了技术鉴定。此外各有关单位已建立了机器人的专门研究队伍，正在从事各种用途机器人的研究。这说明我国已经揭开了机器人研究的序幕，在“七五”计划中，我国的机器人研制工作将有更大的发展。

第二章 机械手的结构与控制

§ 2-1 绪 言

在工厂中使用机器人与机械手已有20多年的历史了。在这段时间里,随着工业技术的发展,对工业机器人的要求也与日俱增,对能够实现高级作业机器人的要求日益迫切。因此很多研究机关在研究机器人,硬件与控制技术方面都取得了很大的进步。

从硬件来说,最初的机械手以旋转与滑动平移为主要结构,这种结构是很复杂的,后来逐渐变成与人臂相似的多关节形了。从机构的自由度来看,也不局限于空间内固定物体至少要有6个自由度的概念,出现了可自由变化姿势的多自由度机械手。

关于传感器,除了检测位置的电位计和编码器之外还装有触觉、力觉、压觉与视觉等传感器,在传递环境信息方面,使用了更高级的技术,从而可实现从事比人能从事的更复杂的作业了。

随着硬件的进步,相应地开发了很多控制技术。特别是多关节机械手的控制,从计算量的角度来看是非常复杂的,可以说没有计算机是无法实现的。

以数控机床为例,最初是采用录返形的点到点(PTP)控制,但是并不单纯地进行位置控制,又把力反馈控制或速度、加速度考虑在内,发展成为动力控制。

现在的工业机器人,其中大部分是用来进行搬运零件、喷涂或焊接等作业,因此以机械来代替人的手臂机能。这样,把对象物握住之后再把它移动到某一指定的目的地,或者给对象物加以必要的力等,这些作用就是手或手臂的机能,这就叫做操作,能够完成上述机能的就是机械手。在第一章中对机械手的定义是:具有人类上肢机能,使对象物在空间内进行移动的机械装置叫机械手。本书为了讨论问题方便,对机械手作如下的具体定义:机械手是由臂、手腕和手部组成的。而臂是具有与人类胳膊类似机能的部位;手腕是位于胳膊的端部具有维持手部机能的部位;手部是具有类似人的手指与手掌机能的部位(见图2-1)。

从世界上机器人发展的总形势来看,工业机器人多数还是以示教再现为基础的,其作业能力还相当低,一般还不能适应高精度的安装作业,所以各研究机关正在研制比工业机器人更高级的自适应机器人和高智能的机器人。

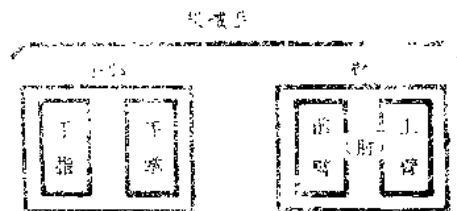


图2-1 机械手的定义

§ 2-2 机械手的结构

一 机械手的结构概述

一般为了把刚体固定在3维空间内,必须有刚体的3个位置与3个方向的自由度,即6个约束条件。因此对机械手而言,为了完全实现对于对象物的操作,必须在手部有6个可以自由调节自由度的机构。一般机械手是由几根连杆组成,各连杆是通过俯仰(旋转轴与连杆轴垂直)、旋转(旋转轴与连杆轴平行)和滑动等关节机构连接,依其动作的不同状态可分成圆柱坐标形、极坐标形、直角坐标形与多关节形。圆柱坐标形与极坐标形其结构比较简单,对于直角坐标系来说,由于一般作业空间多半可看成直角坐标系,所以控制是比较容易的。对于多关节形来说,作业空间也变得大了,虽然一般可实现人臂的巧妙动作,但其控制的难度较大。图2-2是各种结构的示意图。

驱动各关节的执行机构,一般用电马达、液压执行机构与气动执行机构。表2-1列出了各种执行机构的特点。

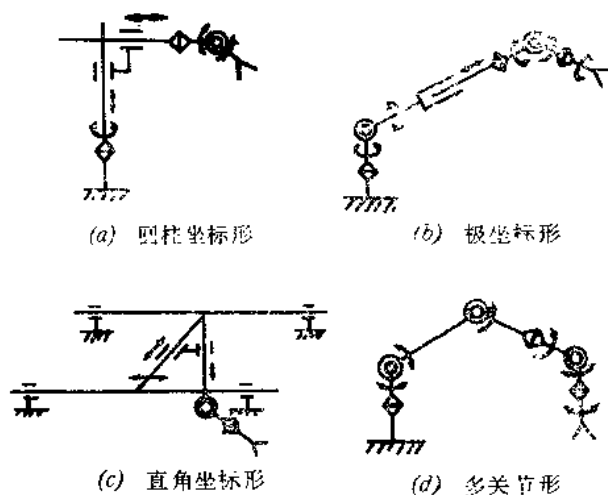


图2-2 机械手的结构图

表 2-1 各种执行机构的特点

	电 动 式	液 压 式	气 动 式
操作力	可得到中、小程度的操作力 力一般得到的是力矩	操作力非常大 可得到力矩或直线驱动力	不能产生大的力 一般是直线驱动力
快速性	由于出现了中速电机而变快 中速电机功率与液压相近	力矩-惯性比大 容易得到高速响应	一般不易得到高速响应 但是由于管路损失小,简单运动时可得到高于液压的响应
尺寸大小、重量	比较好 尺寸范围广	重量·尺寸大小/功率,非常高 但液压能源占空间	比液压差 小型低功率的有利用价值
安全性	对过负载能力弱 必须考虑防爆 其它安全性高	有一定发热 对过负载能力弱 火灾时危险	对过负载能力强 无发热 对人体危险小
易操作性	附属设备全,检查容易	须注意工作油管理,管路冲洗和滤油器管理	除去空气中水分,考虑润滑性等比液压容易
寿命	由可控硅的固体电路驱动得到了改善	因油有润滑性故机械寿命长	因空气无润滑性与液压、电驱动相比较低
成本	一般	价格及运转费都高	成本低

一般使用电动马达时,通过流入马达的电流来调节各关节处的力矩,叫做力矩(或力)