

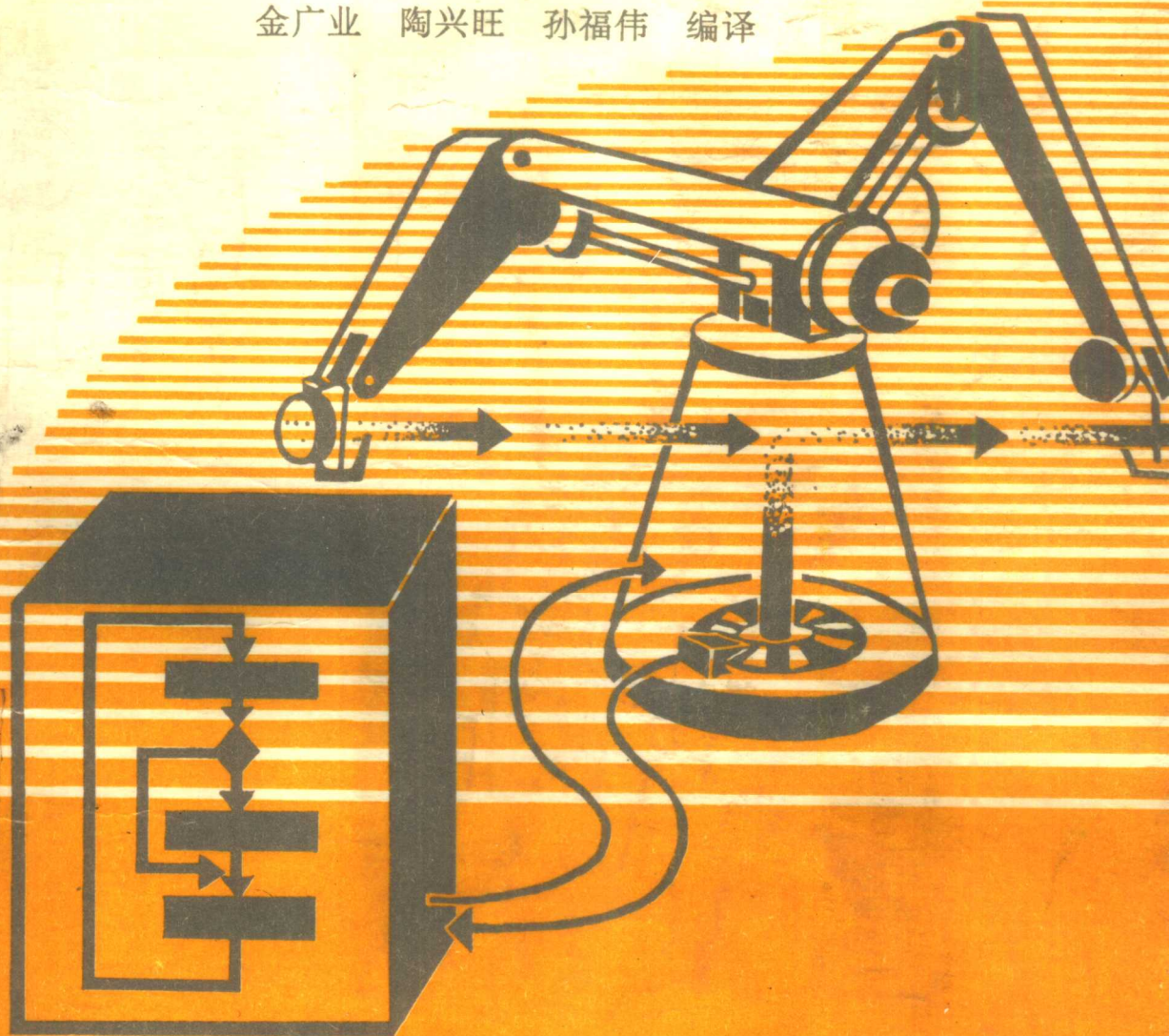
INDUSTRIAL ROBOTS

Computer Interfacing and Control

高等学校教材

工业机器人与控制

金广业 陶兴旺 孙福伟 编译



东北工学院出版社

工业机器人与控制

金广业 陶兴旺 孙福伟 编译

东北工学院出版社

6-10039

内 容 提 要

本书是以 Wesley E. Snyder 所著的 Industrial Robots: Computer Interfacing and Control 一书为基础编译而成。书中从机器人基本概念入手, 给出了机器人的运动学模型、动力学模型和各种控制模型, 并详细介绍了各种传感器、执行机构、计算机接口、图象处理技术和编程语言等内容。最后, 结合国产天龙一号机器人, 介绍了它的控制系统的设计和分析, 并讨论了机器人的发展趋势。

本书可作为大专院校工业自动化专业、自动化仪表专业、计算机应用专业和机械、力学专业的教学参考书; 也适合从事机器人研究工作的科研人员、工程技术人员阅读。

工 业 机 器 人 与 控 制

金广业、陶兴旺、孙福伟 编译

东北工学院出版社出版发行 东北工学院印刷厂印刷
(沈阳 南湖) (辽新出许字 89084 号)

开本: 787×1092 1/16 印张: 14.75 字数: 368 千字
1991 年 3 月第 1 版 1991 年 3 月第 1 次印刷
印数 1~1450 册

责任编辑: 刘淑芳

责任校对: 张德喜

封面设计: 唐敏智

ISBN 7-81006-274-3/TB·19

定价: 3.26 元

前 言

本书是以 Wesley E. Snyder 所著的《Industrial Robots: Computer Interfacing and Control》为基础编译而成。在尊重原著的前提下, 结合我国机器人发展的情况, 我们重新编写了第 1 章, 增加了第 12 章和第 17 章, 在第 16 章增加了国产机器人的编程实例。经过上述编译加工, 既保留了原书的风格, 又使其进一步完善, 更加适于国内读者的阅读。

机器人是综合多学科的一门科学, 因此要全面论述机器人所涉及的各种内容是十分困难的。本书则侧重于机器人的控制基础及其在实际分析和设计中的应用。在控制基础方面分别介绍了机器人的坐标系, 运动学和动力学模型, 基本控制方法、各种传感技术和执行机构。在实际分析和设计方面介绍了机器人的计算方法, 软件设计, 控制系统的分析和实际, 并给出了国产焊接机器人的实例。最后介绍了机器人技术发展的现状和趋势。

本书的重点是计算机控制和它在机器人控制和操作中的作用, 所以没有叙述机器人的机械结构问题。为了介绍机器人的基本原理及系统设计, 本书引进了一个简单的双关节 ($\theta-r$) 机械手。利用这个简单的实际模型介绍了运动学方程、动力学方程、伺服控制、轨迹控制、速度控制和力的控制等概念。在讨论了这些基本概念后, 本书也介绍了六自由度机器人的运动学模型。在总结上述基本概念的基础上, 我们以国产天龙一号机器人为例, 全面分析了运动学方程和动力学方程的求解过程, 并进行了控制系统的设计, 给出了控制系统设计的一般方法。

由机器人所涉及的专业知识所决定, 本书内容涉及面很广, 它包括了力学、机械设计、传动控制、仪表及检测, 图象处理、计算机应用。另外, 从编写方法上为了适应教学的需要, 每章都给出了结论、摘要和习题。因此本书可作为大专院校工业自动化专业、自动化仪表专业、计算机应用专业和机械、力学专业的教学参考书。对于从事机器人研究工作的科技人员也是一本很有价值的参考书。

本书由冶金部自动化研究院的金广业、陶兴旺同志和北方工业大学的孙福伟同志编译。金广业同志负责主编, 陶兴旺同志绘制了插图, 孙福伟同志对书中的数学公式进行了推导和验证。参加原书翻译的有冶金部自动化研究院的金广业、金士兵、陶兴旺、任洁、王化川同志和北方工业大学的孙福伟同志。

由于机器人本身综合了多学科的内容, 加之我们的水平有限, 在编译过程中难免存在不足和错误, 希望读者给以指正。

作 者

目 录

前 言

第1章 机器人概论

1.1 发展历史	(1)
1.2 机器人的一些术语	(2)
1.3 机械手几何学	(2)
1.4 工业机器人的分类	(4)
1.5 机器人系统的组成	(6)
1.6 结 论	(8)
1.7 提 要	(8)
习 题	(9)

第2章 位置和速度的检测

2.1 数模转换	(10)
2.2 模数转换	(11)
2.3 位置和速度的模拟测量	(13)
2.4 位置和速度的数字测量	(13)
2.5 位置计数硬件	(15)
2.6 测量速度的硬件	(18)
2.7 方向的检测	(20)
2.8 由测量值估计实际速度	(21)
2.9 结 论	(21)
2.10 提 要	(21)
参考文献	(22)
习 题	(22)

第3章 数字电路的噪音

3.1 噪音源	(24)
3.2 外部噪音与施密特触发器	(25)
3.3 交叉干扰	(26)
3.4 屏蔽(外部噪音的抑制)	(26)
3.5 接 地	(27)
3.6 传输线效应	(29)
3.7 I_c 尖峰脉冲	(34)
3.8 提 要	(37)

参考文献	(38)
习 题	(38)

第4章 执行机构

4.1 直流电机	(39)
4.2 步进电机	(44)
4.3 液压执行机构	(45)
4.4 气动执行机构	(48)
4.5 提 要	(49)
参考文献	(50)
习 题	(51)

第5章 控 制

5.1 误差比例控制	(52)
5.2 稳态误差	(54)
5.3 超 调	(55)
5.4 采样数据控制器	(56)
5.5 电压控制的直流电机	(57)
5.6 伺服增益的选择	(58)
5.7 控制变量的选择	(59)
5.8 提 要	(60)
参考文献	(62)
习 题	(62)

第6章 机器人坐标系

6.1 位置和方向	(63)
6.2 相对坐标系	(64)
6.3 旋 转	(65)
6.4 齐次坐标	(65)
6.5 坐标系统	(67)
6.6 提 要	(70)
习 题	(72)

第7章 位置运动学

7.1 连杆与关节间的关系	(74)
7.2 确定方向：一个逆问题	(80)
7.3 臂 解	(83)
7.4 在计算运动学中的问题	(87)
7.5 结 论	(88)

7.6 提 要·····	(88)
参考文献·····	(89)
习 题·····	(89)
附录 坐标系的定义: 平动关节·····	(89)

第 8 章 微分运动和雅可比矩阵

8.1 微分运动·····	(91)
8.2 雅可比矩阵·····	(94)
8.3 逆雅可比矩阵·····	(105)
8.4 结 论·····	(107)
8.5 提 要·····	(107)
参考文献·····	(108)
习 题·····	(108)

第 9 章 轨迹控制

9.1 轨迹记录·····	(110)
9.2 笛卡尔运动·····	(111)
9.3 关节内推控制·····	(117)
9.4 结 论·····	(120)
9.5 提 要·····	(121)
参考文献·····	(122)
习 题·····	(122)

第 10 章 动力学

10.1 动力学方程的推导·····	(124)
10.2 力与力矩·····	(127)
10.3 解的复杂性·····	(128)
10.4 动力学方程的实际应用·····	(129)
10.5 伺服增益的选择·····	(130)
10.6 结 论·····	(131)
10.7 提 要·····	(131)
参考文献·····	(132)
习 题·····	(133)

第 11 章 力的控制与随动

11.1 一个力的控制·····	(134)
11.2 力与力矩的变换·····	(135)
11.3 力和力矩的直接检测·····	(138)
11.4 随 动·····	(138)

11.5 综合控制·····	(140)
11.6 结 论·····	(143)
11.7 提 要·····	(143)
参考文献·····	(144)
习 题·····	(145)

第 12 章 控制系统的分析与设计

12.1 机器人坐标系的建立·····	(146)
12.2 机器人运动学的分析·····	(148)
12.3 机器人动力学的分析·····	(153)
12.4 机器人的控制系统·····	(158)
12.5 机器人控制的其它方法·····	(162)
12.6 提 要·····	(165)
参考文献·····	(166)

第 13 章 传感器

13.1 接触式传感器·····	(168)
13.2 接近式传感器·····	(170)
13.3 超声测距·····	(172)
13.4 结 论·····	(173)
13.5 提 要·····	(173)
参考文献·····	(174)
习 题·····	(175)

第 14 章 计算机视觉系统

14.1 基本原理·····	(176)
14.2 图象处理功能·····	(180)
14.3 图象检测硬件·····	(181)
14.4 分 段·····	(182)
14.5 形状的描述符·····	(186)
14.6 形状描述符的使用·····	(187)
14.7 人工照明·····	(189)
14.8 结 论·····	(191)
14.9 提 要·····	(191)
参考文献·····	(193)
习 题·····	(194)

第 15 章 计算方法

15.1 快速计算的方法·····	(196)
-------------------	-------

15.2 代替计算的方法: 硬件	(198)
15.3 半用户设计的硬件	(201)
15.4 分级控制	(202)
15.5 结 论	(203)
15.6 提 要	(204)
参考文献	(204)
习 题	(205)

第 16 章 机器人程序设计语言

16.1 硬件语言	(206)
16.2 点到点的语言	(206)
16.3 运动级语言	(208)
16.4 结构程序设计语言	(210)
16.5 任务级语言	(217)
16.6 天龙一号机器人焊接程序举例	(218)
16.7 结 论	(218)
参考文献	(219)

第 17 章 机器人技术的现状及发展趋势

17.1 机器人发展概况	(220)
17.2 技术现状及发展	(222)
参考文献	(224)

第1章 机器人概论

介绍工业机器人应包括二个基本内容：讲解机器人的原理和如何应用机器人。在原理方面，本书从结构入手，主要讨论与控制有关的一些问题；在应用方面，给出一些概念，并介绍了国产天龙一号机器人。这些概念对于从事实际工作的工程技术人员是相当重要的，如传感器接口、计算机接口、电气噪音和同步电路等。

1.1 发展历史

目前，世界上大多数国家都用 Robot 一词来表示机器人。这个词来源于捷克斯洛伐克语，由 Robota（赋役的奴隶）衍生而来。1921 年捷克斯洛伐克剧作家卡雷尔·查培克（Karel Capek）在他的剧本《罗莎姆的万能机器人》（Rossum's Universal Robots）中第一次使用这个词。此后，于 1922 年才在英语中出现“Robot”一词。现在，在一些国家里，Robot 有二个含意：就是人和机器。

现代的工业机器人，起源于遥控操作器和数控机床。遥控操作器容许操作者在一定距离以外进行操作，它是在第二次世界大战期间为了对付放射性材料而发展起来的。借助有一个或几个观察口的土墙可使操作者与具有放射性材料的工作环境隔开。遥控操作器用来代替操作者的手，它由主动装置和从动装置所组成。为了使主动装置和从动装置能处于任意位置和组态，则由二个具有六个自由度的机构将它们连接在一起。为了重复主动装置的运动，机构被用来控制从动装置。

1947 年电伺服型遥控操作器研制成功，从动装置受伺服控制，随着主动装置的位置而随动。此时尽管操作者能够观察到从动装置的工作，但由于没有信息反馈，所以仍难以完成要求物体与物体相接触的工作。

在 1948 年，一种新的遥控操作器系统研制成功。在此系统中，主动装置将有关的力、位置信息反馈给操作者，使操作者能够感觉到工作的进行情况。

进入 50 年代，随着电子计算机的迅速发展，使得机器人得到了更大的发展。正是计算机才使得今天的现代机器人得以存在。这期间各种机器人的原型不断出现。1954 年，一个美国人（George C. Devol）申请的专利“程序控制物料传送装置”就是现在的示教再现机器人的原型。根据这个专利，1959 年研制成功了采用数字控制程序自动化装置的原型机。

随后，美国的 Unimation 公司于 1962 年制造了实用的机器人，并取名为 Unimate。此机器人采用的是极坐标结构，后来又出现了采用圆柱坐标结构的机器人，这二种结构则成了工业机器人的主流。

在欧洲，第一台工业机器人是 1963 年瑞典一家公司推出的程序控制一号操作机。

日本在 60 年代初期就开始研制固定程序控制的机械手，1968 年日本川崎重工业公司从美国引进了 Unimate 机器人，并对此机器人进行改进、增加了视觉功能，使其成为一种具有智能的机器人。这一成就使日本后来居上，促进了他们工业机器人技术的飞快发展，并在年产量和装机台数上迅速赶上并超过了美国，跃居世界首位。

总之，几个世纪来人们根据自己的想象创造了一些自动机器，但是只有把计算机技术引到这些自动机器中，才开始了它们的实际应用。计算机控制的工业机器人代表了第一台真正的通用自动装置。工业机器人可以很容易地编制程序去执行各种工作，且能减少常规设计所需要的昂贵的自动化设备。随着计算机费用的不断减少，工业机器人必将更加流行。

由于计算机在机器人中的重要作用，因此本书的重点将集中在计算机控制以及与之相关的传感器、执行机构等方面。

1.2 机器人的一些术语

如前所述，机器人一词有它的特定含意。同样在讨论机器人的过程中，我们还会遇到各种各样的术语。为了避免引起混乱，现将本书使用的其它一些术语定义如下：

机械手

机械手是目前最流行的类似人的机器。它十分类似于人类的胳膊和手。

实际上，本书所讨论的每一种机器都是一种类型的胳膊、一种类型的手。人们已经做了一些关于行走机器的研究工作，但是腿和人体其它解剖部分的模仿仍处在研究阶段。虽然已经取得了一些成果，但尚不能完全进入实用阶段。这里将不讨论这些问题，只讨论都是比较流行的一些操作机器，实际上，它们还只是类似于胳膊功能。因此机械手的意思是胳膊和手，我们可将它们相互替代地使用。

遥控操作器

用与人动作相似的方法操作的机械手叫做遥控操作器。典型的例子是一个远距离控制的机械手。这个手在它与控制器之间有一个保护屏幕。这样的系统是特殊设计的，以满足对放射性材料的处理。遥控操作器在其控制回路中也可以有计算机，从而可有效地完成远距离控制，并使得操作器能够检测机械手所施加的力。这样的系统在理论上是可以自动运行的；但实际上，没有人参与控制，它们是不能运行的。因此不能使用机器人这个术语。

工业机械手

工业机械手是一种机器人。当然，它的应用并不仅局限于工业任务，也广泛应用于商业和农业领域中。但目前大多数机器人是应用在工业中，主要是汽车制造厂和金属加工厂。

各种工业机械手在几何学、检测能力及控制能力几方面都不完全一样。

1.3 机械手几何学

机械手的结构取决于形状和尺寸的配合，它的范围可从几公斤重的小型机械手到宇宙飞船上的巨大机械手，大型的机械手可以移动几吨重的重型工业设备。但无论是大型的还是小型的，机械手都可以划分成一系列的几何模型。这里，将结合计算实例介绍不同的几何学模型。

笛卡尔几何学

象龙门吊车一样，这种模型的机器人具有按照笛卡尔坐标轴方向运动的关节。在计算机中，这是最容易处理的。 X 方向上的执行机构的 X 单位运动对应于手上 X 单位运动。图

1.1 简要地表明了笛卡尔机器人的几何模型。

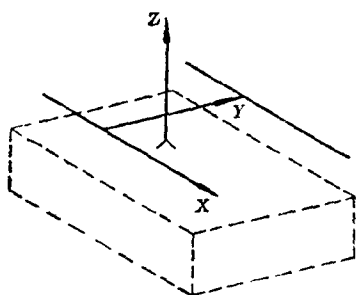


图 1.1 笛卡尔几何学

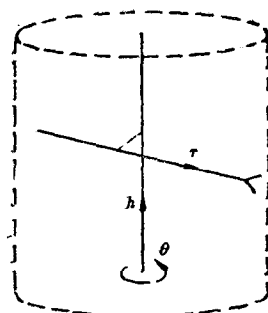


图 1.2 柱坐标几何学

圆柱几何学

在使用圆柱几何学的机械手中，前三个关节直接对应于柱坐标的三个基本变量： θ （旋转）、 h （高度）、 r （矢径）。图 1.2 表明了柱坐标几何学。如果机械手保持在此坐标系中，我们就可以连续地得到机械手的位置。如果机械手位于直角坐标系中 $[x, y, z]^T$ ，我们必须经过一定的变换将两种坐标系联系起来。

例 1.1 柱坐标机器人的运动学

对于图 1.2 的机器人，将笛卡尔坐标系中机械手的位置 $[x, y, z]^T$ 表示为柱坐标 $[\theta, h, r]^T$ 的函数。

解：为了解此题，利用几何直觉，第 7 章将给出严格的方法。

Z 轴与机器人的垂直坐标轴相同，所以有：

$$z = h$$

X-Y 平面垂直于 Z 轴，所以平行于 θ 与 r 所组成的平面，因此有：

$$x = r \cos \theta$$

$$y = r \sin \theta$$

球坐标几何学

如图 1.3 所示，机器人的前三个关节直接对应于球坐标的三个基本变量 θ （旋转变量）、 ϕ （垂直于 θ 平面的旋转变量）、 r （径向矢量）。如果机械手的位置保持在此坐标

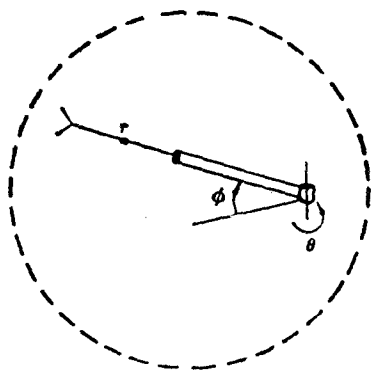


图 1.3 球坐标系几何学

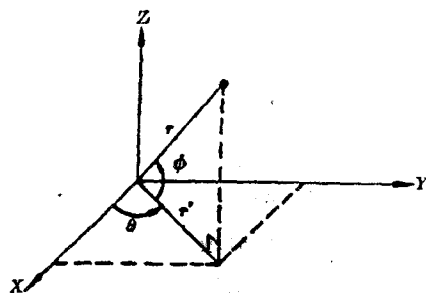


图 1.4 球坐标和笛卡尔坐标的几何关系

系中, 就可以由关节变量来确定机械手的位置。如果机械手的位置由直角坐标 $[x, y, z]^T$ 表示, 则必须进行适当的变换将直角坐标与关节变量联系起来。这些变换就是运动学变换, 第 6 章将讨论这些问题。

例 1.2 球坐标机械手的逆运动学解

对于图 1.3 所示的球坐标几何学, 求对应于一定的笛卡尔坐标 $[x, y, z]^T$ 的关节变量 r, θ, ϕ 。

解: 与例 1.1 一样, 仅用几何直觉解这个问题。第 7 章将给出一个精确的方法, 其中将包括对于具有六个关节的机器人的扩展。

根据图 1.4 的几何关系, 可确定如下关系式:

$$x = r' \cos \theta, \quad y = r' \sin \theta, \quad z = r \sin \phi$$

$$r' = r \cos \phi$$

$$r^2 = x^2 + y^2 + z^2$$

将前二式相除, 得到:

$$y/x = \tan \theta^*$$

所以, 可求出:

$$\theta = \arctan(y/x)$$

将第三、第四个方程相除, 可得:

$$z/r' = \tan \phi$$

所以

$$\phi = \arctan(z/r')$$

这样, 就得到了三个关节变量 r, θ, ϕ 。这里没有利用 $z = r \sin \phi$ 直接求解 ϕ , 第 7 章将给出其理由。

铰接几何学

一些机器人尽力仿效人的肘, 引进了一些特殊的关节变量。图 1.5 给出了三个关节变量都是转动变量的铰接机械手的几何模型。从 $[\theta_1, \theta_2, \theta_3]^T$ 到 $[x, y, z]^T$ 的变换更为复杂。但当机器人必须越过障碍时, 铰接机器人显然是优越的。

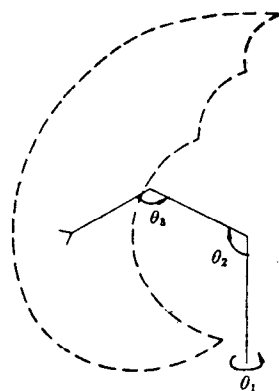


图 1.5 铰接几何学

1.4 工业机器人的分类

工业机器人可以按照前一节所描述的几何学分类, 也可以按控制系统、动作形态、驱动方式、抓取重量和动作范围来分类。

1.4.1 按动作形态分类

在按动作形态分类中还可以分为按自由度分类和按坐标形式分类。所谓按坐标形式分类实际上就是按几何学分类。

按自由度分类则可分成简易型 (具有 2~4 个自由度) 和复杂型 (具有 4~6 个自由度)。机器人手臂运动是由每个运动部件的单个动作组合而成。机器人自由度是指手臂运动部件由固定端算起的单个动作数之和, 一般都是臂部和腕部的自由度之和。移动自由度是

* 考虑后面的符号, 这里没用 tg 表示正切。——编译者注

指臂部沿笛卡尔坐标轴 X, Y, Z 三个方向上的平移；旋转自由度是指臂部和腕部绕 X, Y, Z 轴的旋转运动。一般说来，随着自由度的增加，运动的灵活性也增加。但另一方面，机械和控制系统的复杂性及其造价也随之增加。

1.4.2 按驱动方式分类

按驱动方式可将机器人分为液压式、气动式和电动式三类。

液压式机器人是以油液的压力来驱动执行机构运动的；气动式机器人是以压缩空气为动力来驱动执行机构运动的；电动式机器人则由交、直流电机、伺服电机、步进电机直接驱动执行机构。有时这种分类并不是十分明确的，有可能在一个机器人上同时有几种驱动方式。

1.4.3 按抓取重量和动作范围分类

大型机器人：抓取重量 100 kg 到 1 t 或动作范围在 10 m^3 以上。

中型机器人：抓取重量 10 kg 到 100 kg 或动作范围 1 m^3 到 10 m^3 。

小型机器人：抓取重量 10 kg 以下或动作范围在 1 m^3 以下。

1.4.4 按控制系统分类

由于本书内容主要集中在机器人的控制原理和计算机系统及语言方面，因此，这里将着重介绍一下按控制系统的分类。机器人控制的灵活性直接与控制系统和计算机软件的复杂程度有关，所以先介绍一下从控制方式上的分类，然后再给出根据控制系统的其它性能的分类。

限制程序：机械停止控制

从机械结构上停止机器人的操作类似于打字机和早期的可编程缝纫机。前者通过机械结构的停止来启动垂片，压下垂片的动作迫使铅字进入滑架，然后滑架带动铅字敲打放有打字蜡纸的圆滚并突然停止在正确的位置上。后者是由机器内的凸轮进行编程的，电动机缓慢地旋转凸轮、凸轮的偏心距则可使针移动。

许多简单的机器人基本上是用同样的方法工作的。这就是说，一个执行机构（如气动活塞）移动一个关节直到其撞到一个使它停止的机械部件才停止。尽管在每个轴上使用几个机械停止部件可以更加灵活，但有时也用螺丝定位来控制这样的机器人。这一领域中的一些专家宣称：这样的机器人实际上并不是机器人。

伺服控制

如果控制系统能够检测关节的瞬时位置，我们就可以控制执行机构，使运动关节停在轨迹的任意点上。正是由于运动关节可以停在任意位置上而不受机械结构的限制，许多人才能将真实的机器人与限制程序机器人区别开来。

伺服控制机器人能够使每个关节都停在任意的位置上。在其工作范围内，它的手能够达到任何位置上。我们可以采取不同的编程方法来实现这种能力。在逐点编程中，给控制器如下命令：

```
GO TO A, STOP
GO TO B, STOP
OPEN Gripper      打开夹具
```

GO TO A, STOP

GO TO B, STOP

GO TO C, STOP

CLOSE Gripper 关闭夹具

这里在二点之间（如A和B之间），~~没有~~控制关节的速度和机器人手的轨迹。由于每个关节可以有不同的运动速度或通过不同的距离（或角度），因此一个关节可以比另一个关节提前许多时间到达目标。在这样的系统中，手的轨迹是完全不可预测的。

逐点控制经常使用在工业现场相当大的情况下（也就是不可预测的运动不可能引起其它设备的损坏的情况下），而且在这种情况下也不要求与外部运动物体（如传送带）的配合。

连续轨迹控制

在更复杂的工作环境中，将要求机器人连续地与周围环境相互作用，如弧焊、喷漆和沿着运动的传送带的操作。在这样的系统中，必须沿着给定的轨迹严格地控制手的位置和方向。此时的技术要求在于轨迹控制的实现，技术的复杂程度取决于有关的参数。在所有这些情况中，必须存贮和计算大量的数据。

除了上述几种控制方式外，还有力的控制，随动控制和综合控制等。

在按控制系统的分类中，我们还可以按照控制的性能，编程的方式和控制机构几方面来分类。

按其控制性能，工业机器人可分为自动型和智能型。自动型机器人也叫重复型机器人，目前的实际工业应用中几乎都是这种机器人。智能型机器人具有视觉、触觉等功能，可以根据程序认识自身和周围环境，从而完成规定的任务。这种机器人还处于研制试用阶段，尚未大量投入工业应用。

按编程方式，工业机器人可分为可编程序式机器人、示教再现式机器人、数值控制式机器人等。可编程序式机器人类似于前面介绍的机械停止控制的机器人。示教再现机器人则具有记忆再现功能，由人事先进行示教操作，使机器人记住工作程序、位置及有关信息，通过再现作业完成任务。数值控制机器人是指采用穿孔纸带、卡片、数字开关等，以数字量形式给出各种信息、指令的机器人。

按控制机构可将工业机器人分为开关型和伺服型机器人。伺服型机器人就是前面介绍的伺服控制机器人。开关型机器人是通过行程开关、限位开关等的开闭动作得到位置信号，从而控制运动部件，这样的机器人很难实现复杂的动作。

1.5 机器人系统的组成

可以根据物理结构也可以根据控制系统来讨论机器人系统的组成。从物理角度看，可把整个系统划分为机器人主体、电源和控制器。机器人主体本身可以象人一样分成基座、肩、肘、腕、抓具。

本节从控制系统出发，根据信息转换的观点来讨论机器人系统的组成。同样的物理组成部分可以完成许多不同的信息处理，这一点应加以注意。例如，中央处理机根据不同的数据完成许多不同的运算。同样地，二个物理上不同的组成部分也可能完成相同的信息操作。例如，肩和肘的执行机构用同样的方法将信号转换成运动。

根据信息转换的观点, 机器人系统的组成如图 1.6 所示。使用这种组成模型, 已经忽略了机器人的物理结构和几何结构, 而仅仅考虑了系统中的信息转换。

执行机构

执行机构是最后完成机器人动作的部分, 它与机器人的每个关节相连并驱动关节运动。典型的执行机构是电机、液压油缸和气动活塞, 它们分别组成了通常所说的电动执行机构、液压执行机构和气动执行机构。执行机构的作用就是将中央处理机发出的命令转换成机器人各关节的运动。由于要完全控制位置和方向需要六个变量, 所以一般的机器人系统将包括六个执行机构。在实际应用中, 许多机器人并不要求这样完全的灵活性, 因此可适当地减少一个或几个执行机构。

传感器

为了控制执行机构, 计算机要掌握执行机构的位置和速度, 将执行机构的位置和速度转换成计算机所需要的信息的部分就是执行机构传感器, 也叫内部信息传感器。这里所说的位置是指执行机构相对于任意参考点的位移。例如, 在旋转执行机构中, 位置则是角位移。许多类型的传感器都能够检测位置和速度。

除了内部信息传感器外, 还有外部信息传感器。外部信息传感器给出机器人在完成一定的操作时需要知道的外部环境状态、性质和参数的信息。所谓的外部环境是指机器人工作范围内的生产环境, 也将包括机器人完成任务的对象, 例如, 从传送带上卸货时的货物。图 1.6 中的工件传感器就是这样的传感器。

计算单元

计算单元就是前面提到的控制器, 有时也叫中央处理器。它实际上是机器人的指挥中枢, 相当于人的大脑。现在, 数字计算机能够完成上述功能。当然, 也可以用常用的硬件阵列和网络系统来完成这些功能。但它们都相当于一个计算机, 因此我们这里将计算单元作为一个简单的计算机来讨论。实时控制还将要求一些特殊的设备, 而且有些设备也可能是模拟器件。另外, 许多机器人制造厂在他们的系统中使用一个或更多个微处理器, 但本书都把它们简单地说是成计算机。

计算单元完成下述操作:

伺服控制 (第 5 章): 给出执行机构当前的位置和速度, 并决定使执行机构朝着设定位置运动的驱动信号。对于每个执行机构都要完成这个操作。

运动学变换及控制 (第 7 章、第 8 章): 给出执行机构的目前状态, 决定手的目前状态。同时给定手的希望状态, 从而决定每个执行机构的希望状态。并进行轨迹控制的计算。

动力学控制 (第 10 章): 给出机器人臂上负载的信息 (惯量、摩擦力、重力、加速度), 用这些信息反馈控制伺服操作, 以取得更好的工作特性。

传感器信息分析: 给出要完成任务的信息, 决定适当的机器人运动命令。包括视觉图象的分析 (第 14 章) 或力的测量和补偿 (第 11 章)。

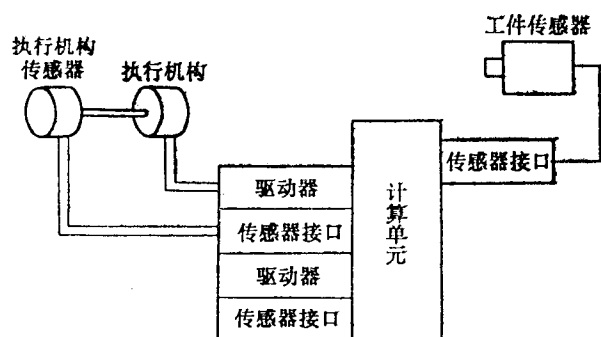


图 1.6 机器人系统的组成

除了上述组成部分外，图 1.6 还给出了驱动环节和传感器接口。驱动环节就是控制驱动执行机构以完成计算机送给执行机构的命令。各种各样的传感器要求不同的机构连接到计算机上，这些机构就是传感器接口。机器人的工业使用要求保护各种接口以防工厂的恶劣环境干扰。例如，弧焊机和电机等的电气噪声源很容易使数字系统失效。

1.6 结 论

机器人是一门新兴的学科，本章的开始我们介绍了它的历史发展，接着介绍了一些有关的术语，然后为了本书以后各章的需要，我们讨论了机器人几何学、机器人的分类和系统组成，这样就使得读者对机器人控制基础有了一个概括的了解。

1.7 提 要

词 汇

读者应该知道下列术语的定义和应用：

- 铰接几何学
- 笛卡尔几何学
- 圆柱几何学
- 工业机械手
- 限制程序机器人
- 机器人
- 轨迹控制
- 伺服控制机器人
- 球坐标几何学
- 遥控操作器

符 号

在此书以后的各章中， θ_i 将用来表示关节变量。对于越靠近手的关节下标 i 将越大。在下面的符号定义中，我们给出了明确的意义。

符 号	意 义
X	笛卡尔坐标方向之一
Y	笛卡尔坐标方向之一
Z	笛卡尔坐标方向之一
x (交替使用)	笛卡尔机器人的第一个执行机构 (θ_1)
y (交替使用)	笛卡尔机器人的第二个执行机构 (θ_2)
z (交替使用)	笛卡尔机器人的第三个执行机构 (θ_3)
θ	柱坐标机器人的旋转执行机构 (θ_1)
h	柱坐标机器人的垂直执行机构 (θ_2)
r	柱坐标机器人的径向执行机构 (θ_3)
θ (交替使用)	球坐标机器人的旋转执行机构之一 (θ_1)