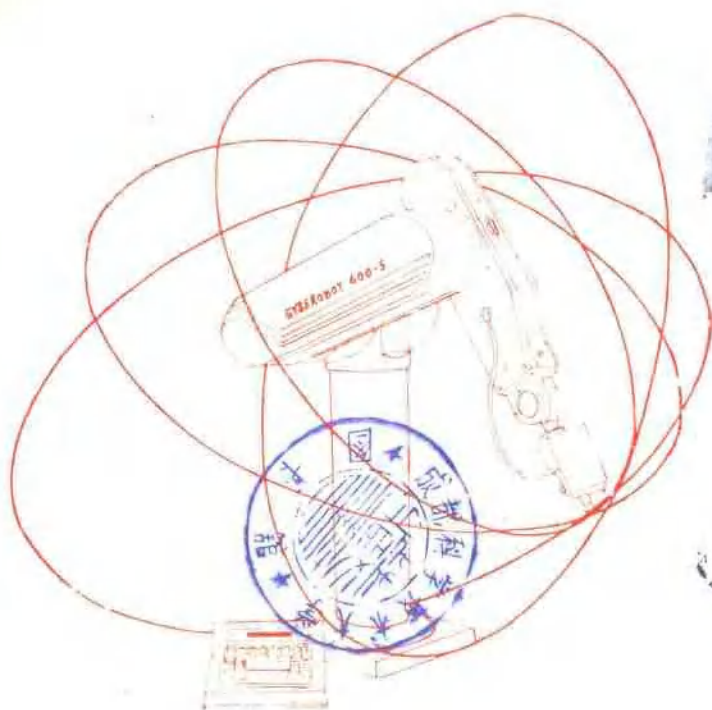


851126

F033

4426

机器人学的工程基础



机械工业出版社
基本藏书

(英) Francis N-Nagy 著

(匈牙利) Andras Siegler

范牧昌、董金城、李道根 译

费钦泉 校

1988年3月

81

426

机器人学的工程基础

(英) Francis N-Nagy 著
(匈牙利) Andras Siegler 著
范牧昌、董金城、李道根 译
费毓泉 校

1988年3月

序

在日益增长的机器人学文献中，这是一本值得欢迎的新书。虽然这门学科还处在幼年阶段，但是近年来机器人的应用已经有了突飞猛进的发展，其范围从比较简单的抓起——放下装置一直到复杂的多自由度的机器人。这种机器人用计算机对其操作进行辅助编程。对于机器人工业生产基地的飞速发展以及伴随发展起来的应用技术，有必要编一整套好的综合性教材，它将包括自动化这一朝气蓬勃的新领域。

我认识本书的作者之一Frank N-Nagy已经二十多年了。对于他，我只能说他非常非常地热心于机器人及其进一步发展。Frank和他的合作者Andras编写了一本内容十分丰富的书，它将给读者介绍关于机器人的一般概念并通过一系列内容丰富的章节来介绍有关机器人操作手运动模型的数学方法和原理。

因为目前的机器人的在机智能、结构设计、稳定性、控制性能和响应速度等方面都是十分原始的，所以我们迫切需要新的设计方案。总的来说，现有的机器人不单速度太慢，而且可能有很大误差，这一点在应用于迅速发展的装配自动化领域时显得更为突出。由于速度和加速度控制中的问题，它们的轨迹跟踪性能往往很差。在很多情况下，它们的功率与重量之比也不理想。如果我们采用更好的伺服电机以及更轻更坚固的结构，那么机器人的性能必将大大提高。

由此可见，这本书的发表是非常及时的，它很可能成为机器人设计者们的一本标准参考书。本书的一个特点是：它具有十二个完整的例题，这对于从事新的运动设计及其控制这一创造性工作的设计者无疑是有很大帮助的。

Roger Crossly

〔索尔福特大学航与空机械工程系制造系统工程教授，兼英国现代制造工艺中心（ANTC）主任〕

前 言

实例比规则更有用。

——Issac Newton

没有什么东西比一种好的理论更为实际。

——Luduig Boltzman

在本书的整个编写过程中，牛顿和博尔茨门的这两条伟大原则始终作为作者们的指导思想。两位作者都出身于工程师，而且在工业部门和专业研究所工作过很长时间。他们知道，在工业部门工作的工程师们很少有时间到图书馆或专利局去翻阅参考资料。而学生和研究人员则没有足够经费去参加各种会议和讨论会了解新的工程领域中的进展。他们没有时间作进一步的探索，对于他们和其他与机器人有关的人，作者尽力把最有用的材料收集到一起并填补机器人学中的空白。

两位作者都曾直接参加过工业机器人的开发工作。作者之一 (F.N-Nagy) 曾受SYK 仪器公司的委任，发起并领导了英国第一台轻型拟人工业机器人的设计和研制工作。如今，这种机器人已经投放市场。另一位作者 (A.Siegler) 在机器人编程、CAD/CAM系统设计和机器人的应用等方面具有丰富的专门知识。作者们的这些经验很好地反映在贯穿全书的工程知识中。

本书为机器人的位置和运动的设计及控制，对于合成任务的机器人语言命令的设计提供了基本的数学工具。许多设计任务，如用正反两种齐次变换的方法来控制机器人操作手，在地球和工具坐标系中移动物体，用各种方法示教机器人，把示教功能与目标程序统一起来，编写和执行机器人结构程序、控制等等都采用对某个问题的分析研究并以例题的方式出现。

本书共分七章。第1章是机器人概论，它提出了机器人工程中名词概念的定义，并讨论了标准化的可能发展趋势，包括MAP/TOP议定书。它也是本书其他各章节的基础；第2章研究的是齐次坐标变换。三维物体的矩阵表达式也将在这一章中进行讨论；第3章讨论方位的欧拉角以及用旋转、圆柱和极坐标系统来描述机器人的运动；第4章研究如何在机器人工作区间内移动物体及运动顺序的安排，并通过介绍视觉信息的应用和带有视觉系统的机器人工作站的设计方法，说明轨迹规范化的含义；第5章给出了用关节变量来计算工具轨迹的方法；第6章研究如何用齐次及变换来推导工具坐标系内的运动。提出了一个十分有用的机器人操作手有效工作区间的设计方法；第7章介绍了改造基本的伺服理论使之适用于机器人的推导过程，它包括机器人伺服系统的品质因素的说明，讨论了正、负反馈补偿问题。

对于具有一些基础理论知识和工程实际经验的人，阅读本书应该没有什么困难。因为作者在对机器人的操作进行说明和数学推导时已注意到这一点。尽管如此，在感到需要补充一些理论知识时，我们在附录中作了进一步说明。

F.N-Nagy

A.Siegler

一九八六年十一月

机器人学的工程基础

目 录

序	范牧昌译	(i)
前言		(ii)
1 导言: 概述		(1)
1.1 前言		(1)
1.2 什么是机器人, 什么不是机器人		(1)
1.3 人类手臂的特点		(2)
1.4 主从操作手和机器人操作手		(3)
1.5 机器人的分类		(4)
1.6 机器人系统的组织与操作		(7)
1.7 标准化的原则及工业机器人标准		(8)
1.8 机器人中一些定义和概念的解释		(11)
1.9 附录		(14)
2 机器人操作数学		(18)
2.1 齐次坐标变换		(18)
2.2 物体的数学描述		(19)
2.3 例1 用变换矩阵来描述楔形块		(21)
2.4 在机器人工作区间内的相对变换		(23)
2.5 例2 按装配顺序推导变换矩阵		(24)
2.6 沿运动链的变换		(26)
2.7 操作手关节的说明		(29)
2.8 例3 为机器人关节设置坐标系并推导其变换矩阵		(30)
2.9 附录		(33)
3 机器人应用中的坐标系统		(34)
3.1 用欧拉角表示方位		(34)
3.2 滚动——侧摆——滚动旋转组合中的欧拉角		(38)
3.3 例4 用对应于滚动——侧摆——滚动旋转组合的欧拉角来表示夹持器的位置		(40)
3.4 对应于滚动——俯仰——侧摆旋转组合的欧拉角		(43)

3.5	例5 用对应于滚动——俯仰——侧摆旋转组合的欧拉角表示夹持器的位置	(44)
3.6	对应于滚转——俯仰——滚动旋转组合的欧拉角	(45)
3.7	机器人圆柱坐标	(46)
3.8	例6 圆柱坐标的计算	(47)
3.9	机器人的极坐标	(48)
3.10	计算直角坐标、圆柱坐标、极坐标	(49)
3.11	附录	(50)
4	机器人操作任务董金城译	(53)
4.1	在机器人工作空间中物体的操作	(53)
4.2	示例8 取放操作运动设计	(54)
4.3	任务的表示法	(60)
4.4	在机器人工作空间中的相对变换	(61)
4.5	相对变换的进一步使用	(62)
4.6	示例9 在机器人工作空间中工具操作的设计	(64)
4.7	示例10 一次装配操作中运动顺序的设计	(67)
4.8	操作任务中视觉信息的应用	(70)
4.9	示例11 装配电视摄像机的机器人工作站的设计	(70)
4.10	机器人操作程序设计	(72)
4.11	抓握和轨迹设计	(75)
4.12	附录	(78)
5	操作手几何学建模	(81)
5.1	操作手几何学表示法	(81)
5.2	手端夹持器状态的确定	(81)
5.3	用H矩阵为对称结构的机器人建模	(83)
5.4	用H矩阵为不对称结构的机器人建模	(87)
5.5	操作手变换图	(89)
5.6	对称结构机器人T6的计算 (Hitachi装配机器人)	(90)
5.7	不对称结构机器人T6的计算 (Unimation PUMA600)	(92)
5.8	示例12 SCARA机器人运动学模型的推导 (Dainichi—Sykes Daros PT300H)	(94)
5.9	计算和程序设序所要考虑的问题	(97)
6	机器人操作手反向建模	(99)
6.1	操作手几何学反向建模	(99)
6.2	反向变换矩阵法	(100)
6.3	旋转机器人 (Unimation PUMA600) 反向任务解	(101)

6.4	反向任务解分解技术	(105)
6.5	操作手工作空间设计	(108)
6.6	机器人设计的另外一些情况	(111)
6.7	附录	(113)
7	机器人控制的伺服系统	李道根译 (116)
7.1	机器人控制概况	(116)
7.2	基本的控制方法	(116)
7.3	机器人伺服机构的数学模型	(117)
7.4	机器人伺服机构中的误差响应和稳态误差	(124)
7.5	反馈补偿和前馈补偿	(128)
7.6	机器人伺服机构的定量特性	(126)
7.7	机器人应用中的计算机控制伺服系统	(131)
7.8	机器人控制中使用计算机的好处	(133)
7.9	附录	(134)
	参考文献	(135)

1. 引言：概述

1.1 前言

作者写本书的主要目的在于介绍给读者关于机器人学中的一个涉及面很广的课题——它不仅仅是工程科学的一些片断的选集，而是对自动化领域中一门发展中理论的系统介绍。

由于机器人技术的迅速发展，我们有必要开发一种理论工具和实际方法，从而使得工业从目前的自动化阶段发展到机器人化。这里，我们的主要目的在于给读者关于机器人是如何操作的这样一个问题的总的概念，并提供一种便于应用的理论。这种理论可成为机器人操纵的实用设计方法的基础。本书的理论阐述深入浅出，它既不过深地牵涉复杂的数学知识，也不需要关于如何把数学运用于机器人学的专门知识。通过各种新设计方法的举例说明，使读者可以更方便地应用这些原理。

1.2 什么是机器人，什么不是机器人

在这一节中，我们将讨论机器人的功能并研究他们的应有特性。为了了解这一功能性的概念，首先必须回答以下几个问题：什么是机器人？它们的构造如何？它们是怎样工作的？或者简单一点说：什么是机器人的定义？

尽管已经有各种各样的机器人的定义存在，但是还没有一种得到制造厂商或用户的一致同意。事实上，还没有一种定义被接受作为一个标准。因为目前还没有一个标准来定义或描述机器人的功能，因此，首先考虑一些这方面的尝试将会是有益的。

英国机器人协会（BRA）把机器人定义为：

一种至少有四个自由度的可重新编程的装置，它通过可变的程序动作操作并传递零件、工具或专门的器具来执行指定的生产任务。

四个自由度是英国机器人协会（BRA）定义的重要限制条件之一。这对于机器人的选择区分是十分重要的。

美国机器人协会（RIA）把机器人定义为：

一种可重新编程的多功能操作装置，它通过可变的程序动作移动材料、零件、工具或专门的装置来执行多种多样的任务。

这是一个被广泛接受的工业机器人的定义，它着重强调了可编程性。通过它机器人可在没有人帮助的条件下执行简单的任务。

日本工业机器人协会（JIRA）和日本工业标准委员会在《工业机器人术语汇编》（JIRA 0134—1979）中，按照几个不同层次把机器人定义为：

操作手：一种类似人类上肢功能的机器，它可把物体从一个位置移动到另一个位置 [Na1101]*……示教机器人：一种可通过对一个操作顺序，包括位置等的存储信息的读取来执行操作的操作手，这一操作顺序示教机器人可以通过事前安排好的顺序用手动的办法来学到 [Na1106]……智能机器人：一种能通过其感觉及识别功能来决定自己行为的机器人

[№1108]。

美国的国际计算机辅助加工者 (CAM-I) 把工业机器人的具有人类特点这一特性定义如下:

一种用来执行通常认为由人类来完成的职能的, 或者是能作出一种看上去似乎具有人类智能的动作的装置。

还有人建议按机器人的发展形式定义为: 一种具有一定自由度的自动机, 它用于与周围环境相互发生作用。

根据这个定义, 一个机器人就是一架自动机, 可能这正是引起混淆的所在。作为机器人的机器, 必须能响应以从外界环境接受到的信息为基础的激励, 无论这一环境有多大的局限性, 机器人都将作出响应, 这一响应要么是盲目的, 要么通过灵敏的感觉作出其环境所要求的所有反应。在这一过程中, 作出判断和根据程序进行操作是机器人的主要功能, 所有其它功能可称之为辅助功能。

为了进一步阐明什么是或什么将成为机器人的本质, 我们把机器人的功能分成三部分: 通过外部报警传感器“感觉”周围环境, 也就是视觉、听觉、触觉、接近感觉等等, 根据由传感器得到的信息“作出判断”, 以及根据某一条件是否存在“决定”需要采取的行动。这种以这些判断为基础的机器人的经验可能被保存下来并以语义学的方式来运用, 从而学习对以后类似情况的反应。这将导致机器人的专家功能——机器人能在没有人干预的情况下熟练地进行工作。

1.3 人类手臂的特点

机器人操作手无论在外观、结构还是在它的许多功能方面大体上与人类手臂相似。因此, 简单考虑一下人类手臂的一些最重要的特点是很有必要的。

人类手臂由两个可明显区分开的部分构成: 一部分是带有三个小关节的手腕, 另一部分是手臂的两个主要关节——肩关节和肘关节。手腕的主要作用是改变手持物体的方位。它的基本动作分类可定义如下: 伸出你的右臂并张开右手, 保持掌心向下, 这一位置就是参考角度 (0°) 位置。然后按顺时针以及逆时针方向尽可能地转动手腕。这一运动称为滚转, 它的可能极限分别 -180° 和 $+90^\circ$, 也就是说

$$\text{滚转 (角度)} = 180^\circ \leftrightarrow 0^\circ \leftrightarrow +90^\circ = 270^\circ$$

让右臂回到参考位置 (0°), 不转动手腕, 使手腕由原来的水平状态尽可能地向下然后向上运动。这一运动称为俯仰, 它的极限位置为 -90° 和 $+50^\circ$, 也就是说

$$\text{俯仰 (角度)} = -90^\circ \leftrightarrow 0^\circ \leftrightarrow +50^\circ = 140^\circ$$

平伸手臂, 手腕既不滚转也不俯仰: 让手指水平地尽力向右然后左指。这一运动称为侧摆, 它的极限位置为 -45° 和 $+15^\circ$, 也就是说

$$\text{侧摆 (角度)} = -45^\circ \leftrightarrow 0^\circ \leftrightarrow +15^\circ = 60^\circ$$

滚转、俯仰和侧摆被看作独立的运动, 因此, 被称为自由度 (见1.8节)。关于手腕运动的机器人演译, 将放在第3章中详细研究。

手臂的第二部分有两个主要关节, 它们有三个自由度。肩关节有两个自由度, 肘关节有一个自由度。但是, 机器人的肩膀仅仅只有一个自由度, 这样机器人的腰就被用来作为肩膀

独立运动之一的一个替代物。人腰的作用则不同，它通过平衡在改变身体姿势时的重力载荷来实现人体的机动性。对机器人来说，有时也用到这种平衡，它是通过在其结构中采用机械弹簧的办法来实现的。

在手臂的一端是一个长着五个指头的手。每个手指有三个自由度。如果一旦手指用来抓住任何形状的物体，指关节将不再独立，它们与手持物体的位置的确定和方位的设置也不再发生关系。如果分别独立地使用手指，它们将为动作的灵活性提供若干活动度（见1.8节）与之相反，机器人的夹持器几乎没有独立的活动度，因而也没有灵活性。这里，值得一提的是手指的利用率，即85%的抓起及放下这一类生产工作中，只用到拇指、食指和中指。这就是为什么迄今为止机器人夹持器的卡爪还没有超过三爪的原因。

我们下一步将考虑机器人手臂的联接问题，顺便也提一下腿的运动。手臂和腿两者都可以用一个力学系统来模拟，如图1.1的力学模型所示。

至于手臂的动态特性，我们这里涉及的仅仅是发生在沿手臂及手的长度方向的明显的结构共振。关于人类手臂的结构共振频率方面的知识为机器人手臂的动力学设计提供了尺度和操作方面的有用知识（见7.3节）。可以十分有趣地看到从肩到手，人类手臂的频带宽度按指数规律增长并大约复盖三个倍频程^(1,2)。

手臂结构的重要特点之一是上臂和前臂的长度比，这个比值大约为1.2左右。这意味着机器人的前臂应等于或略短于上臂。如果不满足这个条件，正如事实上经常发生那样，会导致机器人动作失调，这将在第6章中从理论上加以阐明。当我们把人类手臂看成是一个力学系统时，可以认为：人类手臂是一个由许多线性和非线性元素组成的大规模分级系统（见第7.5节）。

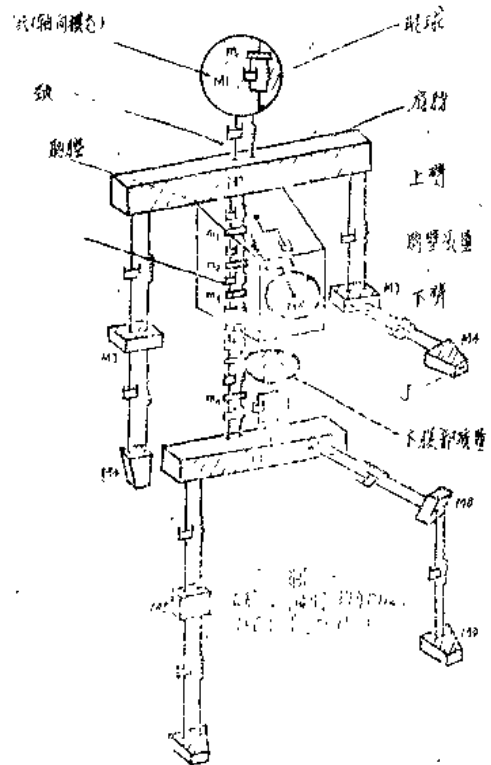


图1.1 用简化力学系统来表示人体的运动几何，并特别着重于上肢。

1.4 主从操作手和机器人操作手

在这一节中，我们仅仅考虑几个一二十年前研制的早期操作手的代表性例子。因此，下面我们将首先介绍一下主从操作手，然后再讲几个早期的当代机器人操作手。

主从操作手

主从操作手是工业机器人的先驱。“主动装置”由操作者操作，“从动装置”重现主动装置的动作。它们的特点是这两个操作手要么是直接的机械连结，要么是通过电气方式连结

在一起。后者也可以指对很长距离的无线电通讯联系。在这种情况下，这些系统被称为遥控操作器。许多不同类型的主从操作手曾经并仍然用于工业研究和开发实验室，它们被用来处理放射性的和其它危险材料^(1·3)。对于这一类工作和空间研究，主从操作手是必不可少的。

这种类型的主从操作手可能有两种操作方式：单向方式和双向方式。在单向方式中，只有“主动装置”是能动的。“从动装置”仅仅重现“主动装置”的动作而不能把任何意外情况汇报给“主动装置”。在双向方式中，操作手的两部分都是能动的。这样，当从动操作手在它的周围遇到一个障碍物时，操作者不仅能看到这个障碍物，而且可以感觉到它，并通过下意识意识地激发操作者的传出神经系统*（反射）来作出反应。这种操作是以通过闭环系统把信号反馈给操作者为基础的。

从主从操作手中移开被传出信号激发的人的手臂和对传入信号作出反应的人脑并把从动操作手置于计算机控制下，这一装置就变成了—种新型的操作手——机器人。

机器人操作手的若干代表

尽管在各种各样的年鉴中已有不止—百家机器人制造厂^(1·4)，我们这里只研究几种首先出现在市场上的操作手。首批工业机器人之一是图1.3所示的由UNIMATION INC.制造的2000系列机器人。这种机器人出现于60年代初期并应用于汽车生产装配线上，结果大大地提高了劳动生产率。另—种 UNIMATION机器人是可编程万能装配机，简称PUMA。这个机器人家族的最有名成员是5轴和6轴的PUMA-550和PUMA-560。5轴的PUMA机器人可见第4章的图4.1。

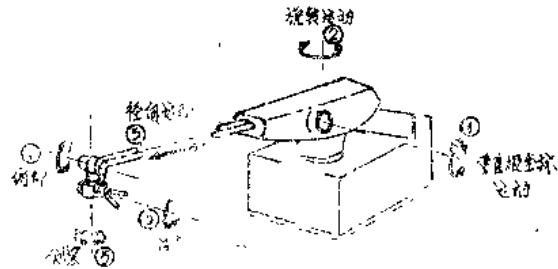


图1.3 极坐标机器人 (Unimate 2000)。其机体绕垂直的径向轴旋转。其肩部可绕其横轴旋转，产生垂直极坐标运动。其手臂关节可延轴向伸长，即径向运动。本图得到英国Unimation公司同意发表。

另—台著名的工业机器人是在70年代中期由辛辛纳特·米拉克罗恩研制的。它被称作为“今天的未来工具”或T³，它是一台计算机控制的通用机器。辛辛纳特·米拉克罗恩的新型号机器人称为T³R³，它的主要关节与T³相同但装有一个多辊结构的手腕。T³R³机器人的新手腕呈—球状，它的三个转动轴线都通过球心。其中两个转动轴靠近前臂的凸缘，它们联合起来，提供了俯仰——侧摆运动，每种运动的转角都是230度。工具的旋转所需的连续滚动是由第三根轴提供的。所以，其结果是一个俯仰——侧摆——滚动的组合（见图3.3）

第三种早期机器人是著名的Asea的IRb-6型操作手，没用多久它就成为工业生产中最流行的机器人。

1.5 机器人的分类

机器人可以按以下几个方面进行分类：

- (1) 结构形状及机器人的运动方式；
- (2) 基于运动控制的运动轨迹；

(3) 机器人的性能特点。

以下，我们将研究前两种分类法。第三种分类法可能是最重要的。但由于它牵涉到高等运动学和动力学，所以已超过本书的范围。

按结构形状及机器人的运动方式为基础的分类

为了按结构形状及机器人的运动方式为基础进行分类，我们把机器人操作中的三种基本的运动区分开来。第一种是绕连接两个关节连杆的纵向轴线的转动，称为扭转；第二种是绕关节的横向轴线的转动；称为弯转第三种是沿纵向轴线的直线运动。无论是外伸的或是结构性的都称为移动。根据机器人关节的运动，可以很容易区别以下几种基本的机器人结构：

- (i) 关节型机器人 (图1.2)；
- (ii) 极坐标(球面坐标)机器人(图1.3)；
- (iii) 圆柱坐标机器人 (见1.4图)；
- (iv) 笛卡尔坐标(直角坐标)机器人，滑臂式 (图1.5)；
- (v) 笛卡尔坐标(直角坐标)机器人，门式 (图1.6)；
- (vi) SCARA式机器人 (图1.7)。

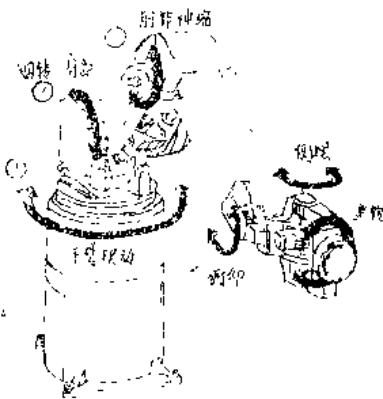


图1.2 关节型机器人 (Cincinnati Milacron T⁸)。它的机体可绕垂直轴旋转。其肩部和肘带有横向轴，可在垂直平面内运动。本图经Cincinnati Milacron同意发表。

(i) 关节型机器人

关节型机器人是最象人类手臂的一种，它常常被叫做拟人机器人。正因为这样，它比其它任何一种机器人都容易适应现有的人的工作岗位。关节型机器人有三个主要回转关节，它们的作用就象腰，固定在腰上的肩膀和装在肩连杆端部的肘关节 (图1.2) 其典型例子为 ASEA (IRB-6, 瑞典) 和 UNIMATION (PUMA 550, 560, 760, 美国和英国)。

(ii) 极坐标 (球面坐标) 机器人

这种机器人绕其底座上的“腰部”的中心线旋转。它的第二根轴为水平旋转铰链，可令

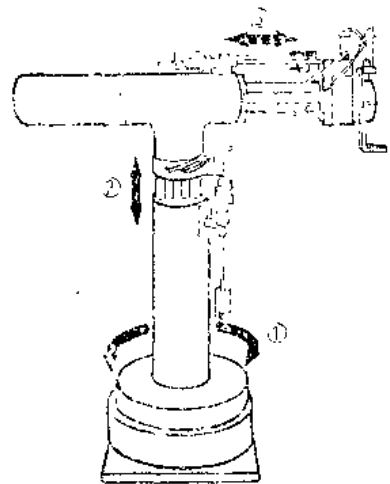


图1.4 圆柱坐标机器人 (Paterson Wiper 2500)。本机器人有两个直线运动和一个绕其垂直轴的旋轴运动。本图经 Paterson Production Machinery 有限公司同意发表。

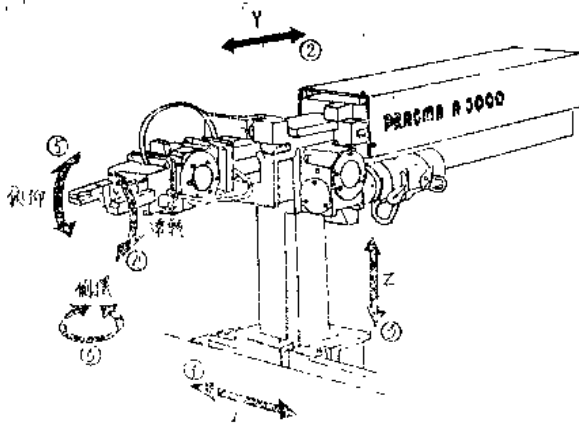


图1.5 笛卡儿坐标机器人 (Pragma A 3000 DER)。这种机器人有两个垂直轴线运动，他们分别在水平面 (x, y) 和垂直平面中 (x, z) 本图经 Digital Electronic Automation SPA 同意发表。

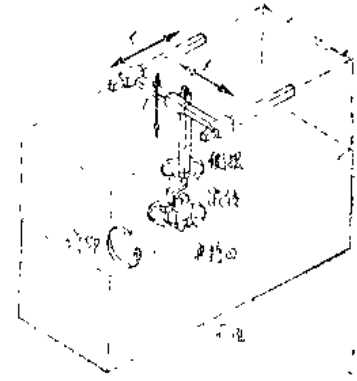


图1.6 笛卡儿坐标机器人，门式(IBM 7565)。

手臂在垂直平面内回转。同时应用这两根轴，机器人可扫描部分球面。从数学上来看，它对应于一极坐标系，所以把这一类机器人划分为极坐标类。第三个自由度是由手臂中的柱状移动关节提供的，这一关节可让它向里或向外运动。机器人可扫描的球面的半径取决于柱状移动关节（见图 1.3）。其典型例子为 UNIMATION (1000, 2000, 3000 系例，美国)，PRAB (4200 和 5800 型，挪威)，GEC (小巨人，英国)。

(iii) 圆柱坐标机器人

如图 1.4 所示，这种机器人包括底座、水平手臂以及装在水平手臂中的柱状移动关节。整个底座可以上下移动。水平手臂绕立柱回转，可在空间中描绘一部分圆柱。从数学上来看，它对应于一圆柱坐标系，所以把这一类机器人划分为圆柱类。装在水平手臂中的柱状移动关节可以滑进滑出，并与底座保持平行。其典型例子为 PRAB (E、FA、FB、FC 型和 G 型系列，挪威)，PATERSON (WIPER 2500、3000，英国)，FANUC (M—M1、M—M2、M—M3，日本)。

(iv) 笛卡尔坐标 (直角坐标) 机器人，滑臂式

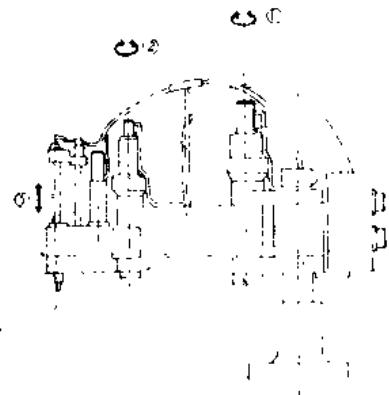


图1.7 SCARA型机器人 (GEC A3020 Selective Compliance Assembly Robot Arm) 其臂部和肘部可绕其垂直轴在水平面内旋转。在机器人的末端为一提升用的垂直轴。本图由 GEC Electrical Projects 有限公司同意发表。

这种机器人有三个相互垂直的移动轴线，它们可通过上下、左右以及前后移动柱状关节来得到。从数学上来看，它对应于一笛卡尔坐标系，所以把这一类机器人划分为笛卡尔坐标类（图1.5）。尽管这种机器人十分精确，但因为它对于现存的人工操作岗位的适应性很差，所以在许多使用场合下宁可采用其它类型的机器人。这种机器人的一个典型例子是DEA机器人（Digital Electronic Automation SPA, Model Pragma A 3000, 意大利）。

(v) 笛卡尔坐标（直角坐标）机器人，门式

如图1.6所示，这种机器人的结构与滑臂式机器人相同。唯一的区别在于它有一个支持机器人滑动的门架。它的一个典型例子是IBM（7565, 美国）。

(vi) SCARA式机器人

新的机器人运动形式可以通过把上述的基本机器人的典型特性组合而成。例如，把摇臂和圆柱坐标机器人的运动原理结合起来，结果将产生一种新型机器人叫做SCARA。这里SCARA是局部柔性的机器人手臂的缩写（见图1.7）。它的旋转关节上装有垂直轴，可在水平面内旋转，它相当于摇臂和圆柱坐标二者。SCARA机器人的结构形式具有绕垂直主轴的旋转，如果把轴水平放置，重力、向心力和离心力施加于结构的力将大得多。在高速度和高精度的情况下，这一优点是十分重要的。这种机器人的最好例子是IBM（7535和7545, 美国），META MACHINES（ADEPT ONE, 英国）。

按轨迹控制方式分类

机器人的轨迹控有两种基本方式：

(i) 点位控制（PTP）；

(ii) 连续轨迹控制（CP）。

在点位控制时，机器人在每一个点上都要停一下以使用预定方式来计划下一步。尽管在两个设定点之间的运动轨迹不受控制，但它通常总是沿着一条由机器人的运动几何学决定的自然轨迹。另一方面，在连续轨迹控制下机器人可以精确地跟踪任何随机的轨迹。就准确性和重复性而论，点位控制机器人有更高的精度。连续轨迹控制机器人能沿要求轨迹光滑地运动，但其速度要受一定损失。它是在计算机实时地插补法计算的步长的函数。这一损失可能使速度降低15—25%，结果使得过程控制不很经济，也就是说比起同样的机器人在点位控制状态下效率要低。

1.6 机器人系统的组织与操作

为了弄清楚一台特定的机器人是什么样的运动结构类型，它是怎样工作的，机器人是怎样拟合工作空间的，牵涉到的知识有机械和控制工程、模拟及数字电子学、计算机科学、制造工艺及管理科学。任何一个研究机器人的人都将需要所有上述学科作为预备知识。

今天的工业机器人系统，虽然大小、形状和功能有所不同，总的来说由以下五个主要部分组成：操作手、控制器、功率驱动及其能源、带或不带监视器的示教板或手动控制台以及附加的外部终端^(1.6.1)，如图1.8所示。

机器人操作手由做工及控制联接的机械装置组成，由气压、液压、电力等驱动装置来带动。运动学上有多少独立的运动就需要多少驱动装置。它们的数量一般为6个，但并不是所有的情况下都需要这么多。例如，工件的传递可能仅仅只需要3根轴，抓起和放下需要4根

一般认为，标准化是发展的重要因素，但是开始时会有一些抑制作用，特别是在发展初期阶段。请留意，机器人尚处在一个十分容易变化的阶段。尽管如此，制造厂家和用户仍然十分迫切地想知道标准化的进程以及在机器人学和机器人化中所提出的标准。当然，会出现许多相互矛盾的定义和各种不同的标准。在目前这一暂时阶段，谨提出一个6个层次较合理的机器人操作手标准化分组范以供参考。

- (1) 术语和符号；
- (2) 特定方法的表征；
- (3) 机器人结构标准；
- (4) 设计准则；
- (5) 试验方法和试验规则；
- (6) 性能检验。

机器人学的术语和符号是定义有关机器人的种种项目的基本概念。它们对于设计、制造、试验、测量、数据处理以及为机器人及其辅助系统编制程序等的方法的描述是必不可少的。所有这些都可根据其表征来简单考虑。结构标准详细描述了零件和部件的特点，这是设计机器人的机构及其应用所必需的。尽管存在若干差别，如各种现有的指南已指出的那样，机器人的运动学设计和试验规则与实际上已存在的机械标准类似。至于性能检验方面，目前的进展还不足以建立其标准。

机器人标准化的最大困难在于：由于它本身的特点，它横贯了许多技术和工程领域。一个人无论牵涉到机器人技术标准或测量标准，都需要大量的专业知识。工程师、数学家、计算机科学家以及其它学科理论和实践两方面的代表都可以在机器人标准化的整个领域中作出重大贡献。

标准化主要用传递机器人的技术情报的办法通过研究和开发的国际交流来实现。发起和组织这一类事情主要以国际会议为中心，但是目前标准化的主要任务将在国家机器人研究所的支持下进行。毫无疑问，近十年内在机器人学和所有有关学科中标准化的重要性将大大增加，在这里国家机器人研究所将起到重要作用。为此，在附录1.A的表1.A.1中，我们提供了全部现有的国家机器人协会名单^(1*2)。

工作在CIM（计算机一体化加工）工业的计算机使用者，当他们不得不与局部的自动系统互相连接时遇到很大的困难。无论选择什么样的通讯系统，标准和方案来进行相互联系，当它进行诊断时甚至会遇到更多的困难。忽视标准化已经给制造者带来无数问题，对于用户问题则更多。用户不得不到几个供应者那里去买可以通过宽频带通讯网络很好地连接在一起的设备，这已经够麻烦的了。但是，当由于硬件和软件互不兼容、设备在工厂里相互连接时产生问题时，这一状况就变得无法接受了。

由于缺少标准，许多生产厂商对计算机和机器人的功能提出了他们自己的术语和性能描写。FMS（柔性加工系统）的供应者和使用者一定注意到美国GENERAL MOTORS的新近提议正被作为计算机通讯包括机器人接口方案的标准。其结果就是MAP（加工自动化议定书）。MAP是一套机器间连接方面的议定书，它使得不同厂家的计算机控制的工厂设备可通过一个公共的通讯网络进行相互通讯。虽然当前流行的版本MAP2.1还在进一步发展，MAP的更新版本MAP3已近在眼前了。

TOP (技术办公室议定书) 是MAP的姊妹议定书, 它是由美国波音公司所提议的。TOP是应用于技术和办公室环境的附加通讯技术规范, 它执行的任务包括: 公文、SPREADSHEET和图纸的交换; 打印、绘图、文件和目录盘; 电子通讯、贮存和输送消息; 文件传递和分数据库接口。

MAP和TOP两者在美国和欧洲都已经得到第一流制造厂商的支持^(1.9)、^(1.10)。事实上, MAP和TOP已经正式联合成一个MAP/TOP使用者小组, 并在1985年成为北美的制造工程师协会的一个官方技术组织。同样, 在1986年欧洲也成立了名叫欧洲MAP使用者小组的欧洲MAP组织。MAP/TOP连接系统能使车间里的机床, 计算机辅助设计装置, 机器人或工程工作站等“技术岛”之间进行有效的通讯。

工业机器人标准

各国的机器人协会都在提出工业标准的草案和提案。在这一方面, 日本工业标准 (JIS B 0134 “工业机器人术语汇编”) 和美国国家标准局商业部 (第459号特别报告集) 是很值得一提的, 因为它们是名词术语标准化的最先进提案。前一个草案提出了以下几组机器人术语:

- (1) 工业机器人的分类。
 - (1.1) 以信息和示教方式为基础的分类;
 - (1.2) 以序列信息为基础的分类;
 - (1.3) 以操作形式为基础的分类。
- (2) 有关功能的基本术语。
- (3) 有关效能和特性的基本术语。
- (4) 有关执行工作任务的基本术语。
- (5) 有关操作及控制的基本术语。
- (6) 有关智能机器人的基本术语。
- (7) 有关安全的基本术语。

为了减轻由于缺少标准而造成的问题, 作者建议使用现有的术语汇编。因此, 在附录1.B中我们给出一些最重要的术语, 它们选自JIS B 0134-1979。附录1.B由上述每一组术语中选取若干项目组成 (见附录1.B的表1.B.1到1.B.7)。

西方和日本标准的差别之一是: 西方不把固定 (专用) 的机器看成机器人, 虽然有时这些专用机器的适应性很强, 例如, 一台剪板机自动地执行一个剪切顺序, 无论输入是怎样组织的, 这一顺序都不能改变。根据日本标准, 这台剪板机是一台机器人 (如日本标准中的术语: 固定顺序机器人, JIS B 0134-1979, No.1104)。另一个例子是抓起—放下装置, 比方说, 它可以从某个位置上抓起一块钢板, 然后放入一台剪板机中。尽管这台装置实际上是可调的, 也就是说它是柔性的, 但是按西方标准它还只是一台机器人。只有当它能通过改变软件来改变操作的调整时, 它才可以被公认为是一台机器人。按照日本标准, 这台剪板机是一台机器人。

在机器人和计算机数控装置划一条界线就更困难了。尽管这些机床是用计算机来控制的, 使用预先录制的程序, 而且软件是可以调整的。但是按西方标准这些柔性还不足以使它