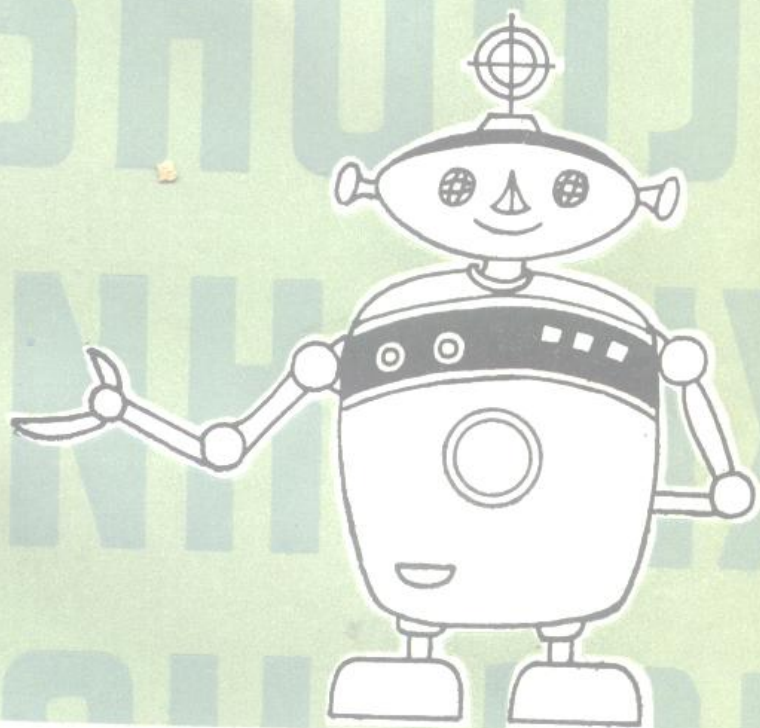


机器人和机械手控制系统



刘兴良
满淑芬
译

〔苏〕E·И·尤列维奇
著

新 时 代 出 版 社

73.82
134

机器人和机械手控制系统

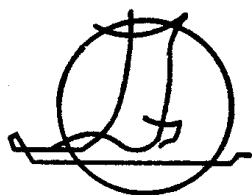
〔苏〕E. И. 尤列维奇 等著

刘兴良 满淑芬 译



新时代出版社

8610051



内 容 简 介

本书讲述了机器人控制系统的基本概念及工作原理，并以某些机器人为例介绍了机器人的总体结构和机器人各分系统的典型结构。书中分析了机器人的感受装置，叙述了机器人传动装置及其基本计算方法，还研究了用电子计算机控制机器人及制造有知觉机器人的基本问题。

本书可供与机器人技术有关专业的大学生、中专生及科技人员阅读。

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ
РОБОТАМИ И МАНИПУЛЯТОРАМИ

Е. И. Юревич

Издательство Ленинградского Университета 1980

*

机器人和机械手控制系统

〔苏〕Е.И.尤列维奇 等著

刘兴良 满淑芬 译

新时代出版社出版 新华书店北京发行所发行

国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 6.25印张 138千字

1985年4月第1版 1985年4月北京第1次印刷

印数：0,001—8,100册

统一书号：15241·51 定价：1.00元

科技新书目 95—131

Dt22/06

自从五十年代末出现第一批工业机器人以来，机器人技术得到了飞快的发展。目前世界上有三万多台工业机器人。在工业、农业、交通、医疗、科研及宇航等方面已得到了广泛的应用。用机器人来代替人进行操作、实现单机自动化、建立自动化生产线甚至自动化工厂，可节省劳动力、提高生产效率和生产水平、改善劳动条件。目前，在工业发达国家中正在研究、制造更高级的机器人。预计在不久的将来，机器人技术会得到更大的发展。

近十几年来，在我国某些工业技术领域，尤其在恶劣劳动条件下（如高温、放射性、危险、多灰尘等作业）也采用了工业机械手。为适应我国现代科学技术的发展和满足广大读者学习和研究机器人技术的需要，我们翻译了这本书。

本书可作为有关专业大学生、中专学生的教学参考书及科技人员参考书。本书是一本专门讲述工业机器人和机械手控制问题的书籍。书中以苏联及日、美等国较典型的机器人为例，介绍了工业机器人的控制系统及其分类、基本部件、传动装置、控制装置及计算机控制等问题，可供教学和自学参考。

全书由肖春林作了初步审校，李寿刚初校第三章，后请张伯鹏、陈忠信、吴月秀对全书再次校阅。在本书的翻译过程中得到了很多同志的指导和帮助，谨此致谢。

由于译者水平所限，书中的错误和不妥之处在所难免，殷切希望读者给予指正。

译者

1700112

目 录

绪论	1
第一章 工业机器人和机械手控制系统的基本 概念及分类	8
1. 机器人控制系统按控制运动的方式分类	8
2. 机器人控制系统按控制装置的信号形式分类	15
3. 机器人控制系统按同时控制的机器人数目分类	16
4. 机器人控制系统按操作人员参与控制的特点分类	16
第二章 控制系统的部件	18
1. 控制装置的基本元组件	18
2. 机器人的感受装置	21
3. 操作人员与机器人的联系装置	40
第三章 工业机器人的传动装置	47
1. 工业机器人传动装置的分类	47
2. 机器人的气动传动装置	49
3. 机器人的液压传动装置	71
4. 工业机器人的复合式传动装置	93
5. 工业机器人的电动传动装置	95
第四章 工业机器人的控制装置	110
1. 工业机器人的控制系统	110
2. 限位器式点位控制装置	116
3. 点位控制装置	129
4. 轮廓控制装置	149
第五章 机器人的计算机控制系统	156
1. 机器人控制系统的结构	156

IV

2. 具有知觉的机器人控制系统.....	162
3. 人和机器人交互作用的分级结构.....	178
4. 有知觉的机器人的程序语言.....	180
5. 控制机器人的 POKOJI 语言的说明	183
6. 机器人的几个机械手及几个机器人的协同控制.....	189
参考文献.....	192
附录 A	196

绪 论

尽管机器人技术发展很快，但至今“机器人”这一术语仍无统一的、固定的概念。目前，这个术语的含义很广，而且很直观。有些人甚至把各种类型的控制论游戏装置、主从机械手、机械翻译系统、会下棋和能谱曲的电子计算机等等也都看成机器人。

一般说来，机器人可定义为完成机械动作的通用自动机。到目前为止，原则上仍是把完成体力劳动的人作为构造机器人的模型。机器人的特点是借助于感受装置和执行机构能主动，而且有目的地和外界进行信息的和物理的相互作用。机器人对外界物体产生作用，并能在外界环境中行走。机器人的各个部分（分系统）由信息处理装置（如电子计算机）联结成统一的系统。在结构上，机器人的各个分系统是可以分开的。也可以把各个分系统组合成不同的机器人。

机械手是机器人主要的（目前还是唯一的）执行机构。但是，可以设想用强电磁场来操纵物体，也就是把强电磁场作为机器人的执行机构；可以设想让强大激光装置按所需要的方式对周围物体进行作用，也就是把强大激光装置作为机器人执行机构；可以设想其它类型的机器人执行机构。当然，在任何情况下，对外界物体产生灵活作用的执行机构是机器人必不可少的组成部分。本书下面讲到执行机构时就是指机器人的机械手。机器人的另一个必备的特征是通用性。不具备通用性就不能算做机器人。举例说，只有一种程序的加料器，

虽然是自动机械手，但是由于功能不能够调整，不应称作机器人。不需要人参与操作，有自治操作能力也是机器人必备的特征。不具备这一特征也不应该认为是机器人。举例说，由人远距离控制的充当电视摄象机的机械手以及其它各种类型的主从机械手，都不能列入机器人之列。

把机器人定义为完成机械动作的通用自动机，这是对所研究的新型机器下的广义定义。当然，由于自治程度及操作人员参与特点的不同，各类机器人之间存在着本质上的差别。甚至机器人本身还有分工，这种分工是根据它们具体应用的特点而决定的。因此，各类机器人的通用程度有很大差别。

现在来研究机器人的一般结构（图1）。机器人的推进作用是由执行机构来完成的。通常，机器人的执行机构包括机械手和行走装置。

机械手是多环节开环机械装置。它有完成旋转和往复运动的关节，其自由度数目为3~10。这个机械装置的最后一个环节（即工作机构）是手爪，或其它任何专门的生产器械，如真空吸附盘、喷雾器、自动搬手等等。为了能够在各环节位移最小的情况下保证执行机构有平滑的移动轨迹，必须正确地分配机械手传动链的运动自由度。为此，机械手必须满足如下基本要求^[25]：

- （1）可随意改变手爪位置和方向；
- （2）在保持手爪位置和方向的条件下，可随意改变机械手运动链在空间的形状；
- （3）用于改变手爪方向的运动自由度不能对手爪终端位置有明显的影响。

要按照机械手在工作范围内的工作要求，即服务质量，

来选择各环节的长度。工作系数可作为一个质量标准。根据所要求的工作系数的大小确定各环节的长度，和确定各环节在机械手传动链中的配置。

在确定手爪的结构时，通常要考虑某些定型工序。有的手爪做成勺罐形，有的有两个或三个手指，有的有挠性手指等等。工作机构可同时带有信息传感器。这种信息传感器能确定出操纵对象的各种参数，并能发出故障警报等。

机械手和行走装置的执行机构是每个运动自由度的传动装置（参看图 1）。传动装置主要有三类：电动的、液压的

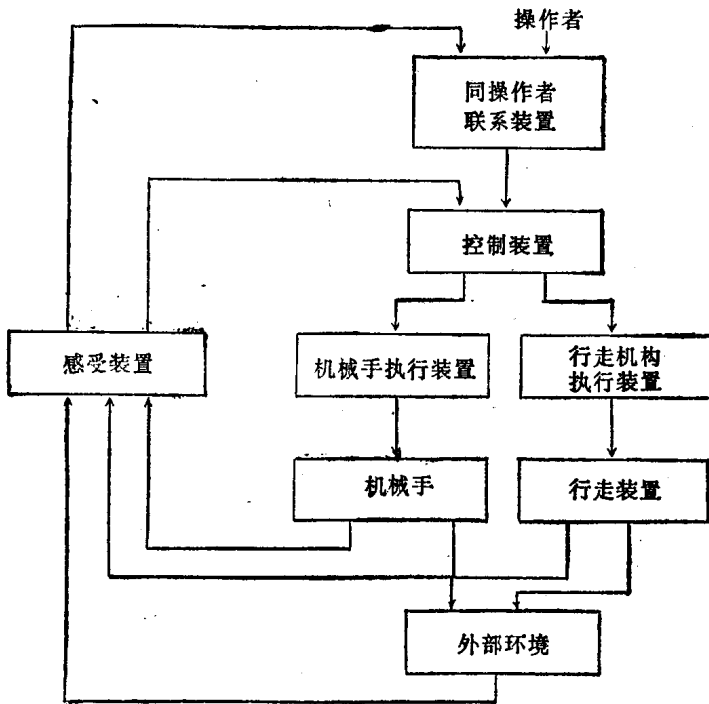


图 1

和气动的。由于空气压缩性大和制造良好的气动随动系统相当复杂，所以气动传动的灵敏性很差。液压传动除需要专门的维护外，还由于漏油会引起环境污染。电传动可以采用各种伺服电机和离合器。传动装置可直接安装在机械手上面，即安装在靠近实现相应的运动自由度的关节地方，或者安装在固定机械手的基座上^[18]。分散配置传动系统的优点是，由电动机到关节之间力的传递简单，因而机械手的结构紧凑。集中配置传动装置可以简化机械手的结构，并且可以比较自由地选择传动的形式和结构，但是，由传动装置向关节传递力需要齿轮、链条及钢索等等。

机器人的行走装置可采取已被广泛应用的任何一种移动装置。在地面上行走时，可利用履带式、转轮式、步行式及其它类型的推进器。

图1所示的感受装置可分为两种主要类型：收集机器人内部状态信息的装置和收集外界环境信息的装置。第一类装置用于在机器人内部形成反馈。属于第一类装置的有：测量机械手各环节的角位移和线位移的传感器，测量机械手各环节的速度和加速度的传感器。第二类装置能够根据外界环境的状态对机器人实现适应性控制。属于第二类装置的有：触觉传感器和定位传感器（它们可以获得接触或接近对象的信息，判断简单的对象的形状）、力传感器（如在装配产品时，用来调节施加给操纵对象的力）和滑动传感器（被操纵的对象从手爪中滑出时滑动传感器有反应并产生信息）。视觉信息是反映外界环境最完全的信息。但是，由于识别图象还有某些困难，所以视觉装置至今未能广泛地应用。在情况发生变化时，必须利用外部环境的信息来控制机器人。

与操作人员联系的装置（见图1）是一套保证操作人员

与机器人互相联系的设备。由这些设备可以得到有关机器人操作情况的信息。视觉控制台就属于这种装置。操作人员由控制台能得到关于机器人操作的视觉信息。然后, 操作人员在电视接收机的屏幕上用光笔或光标标出他所感兴趣的目标的坐标, 或者标出机器人应该移动到的目的地。通过控制台能够将机器人各分系统的工作情况传给打字机或者直观显示器。由控制台也可以把来自机器人的询问送给需要此信息的输入端。在没有视觉反馈时, 绘图机可向操作人员提供有关机器人在地面行走的信息, 由绘图机可以提供预计的运动轨迹。

用声音可给机器人分配任务并可把机器人改装成各种结构形式。现在已经有能分辨200个字词的机器程序和专用装置。用语音综合器, 或者, 在最简单的情况下, 用记录在录音机磁带上的信息, 机器人也能够用语音对操作人员作出回答。

控制装置(见图1)能将感受装置给出的全部信息加以变换, 并产生出对传动装置的控制作用。

有时采用由一台或数台电子计算机组成的分级控制系统去控制机器人(如控制可移动的机器人)。机器人可装上小型机载电子计算机。小型机载电子计算机控制传动装置, 并将机器人上的传感器的信息做预处理。信息的变换和控制作用的计算主要由固定式大型电子计算机来完成。大型电子计算机通过电缆或无线电与小型机载电子计算机联系。当联合控制几个机器人时, 可采用中心电子计算机和分散的小型电子计算机相结合的控制系统。分散的小型电子计算机附属于中心电子计算机并控制单个机器人。

现在来讨论工业机器人的分类问题。机器人的分类如表

1 所示。按照这种分类,表征工业机器人类型的基本特征有:机械手数目、运动自由度数目、传动系统和控制系统形式、精度等级和执行机构形式。若其中几项特征有指标,那么分类时要考虑其中最大的或最复杂的特征(运动自由度数目、负载能力、控制系统形式、精度等级),或者考虑综合特征

表 1 工业机器人分类

序号	特 征	按给定特征确定的机器人名称 (类型)	可用代号
1	机械手数目	具有一个、二个或多个机械手; 具有分立的传动和控制; 具有分立的传动、有相关联的控制(对一个、二个或多个运动自由度); 具有集中传动(对一个、二个或多个运动自由度)。	1M, 2M...
2	机器人运动自由度数目(包括行走装置)	机械手有二个、三个或多个运动自由度的机器人,又分为: 固定式机器人; 可动式机器人。	1M2, 1M3... 2M2, 2M3... 3M2, 3M3...
3	机械手工作范围的形式	按机械手工作范围的形式机器人可分为: 在平面上工作的机器人; 在表面上工作的机器人; 在平行六面体内工作的机器人; 在圆柱体内工作的机器人; 在球形体内工作的机器人; 在上述各范围形式的综合区域内工作的机器人。	Π_{π} Π_n Π_p Π_{π} $\Pi_{\text{ш}}$ $\Pi_{\text{ш}}, \Pi_p, \Pi_{\text{ш}}$
4	机械手负载能力	超轻型机器人; 轻型机器人; 中型机器人; 重型机器人; 超重型机器人。	

(续)

序号	特 征	按给定特征确定的机器人名称 (类型)	可用代号
5	机械手和行走装置的传动类型	按传动类型可分为： 有气动传动的机器人； 有液压传动的机器人； 有电动传动的机器人； 有复合式传动的机器人。	П _n Г Э ГП _n , ГЭ, ЭП _n
6	控制系统的形式： a) 根据控制原理分类 б) 根据每个运动自由度实现运动的 形式分类 в) 根据同时控制的机器人数目分类	程序控制机器人； 有知觉的机器人； 非适应控制的机器人； 适应控制的机器人； 人工智能机器人。 连续（轮廓）式控制的机器人； 离散式控制的机器人； 点位式控制的机器人； 循环式（限位器）控制的机器人； 复合控制的机器人。 单控的机器人； 群控的机器人。	О К П Л
7	精度等级	定位精度为 0、1、2、3 级的机器人	0、1、2、3
8	工作类型	一般的机器人； 防尘的机器人； 有过热保护的机器人； 防爆的机器人。	

(工作范围和传动系统的形式)。表 1 最后一列给出了表示相应于各特征的可用代号，由这些代号就可组成机器人的简写代号。

第一章 工业机器人和机械手

控制系统的基本概念及分类

如前所述，机器人控制系统是由控制装置、机械手形式的受控对象、行走装置（在可移动的机器人的情况下）以及其它一些装置所组成。其它装置是指那些属于机器人，但结构上和操作上独立的装置。

由于控制机器人的主要任务是控制机械手，因此，下面介绍机器人控制系统时主要指的是机器人的机械手控制系统。如果控制机器人的其它装置时，将会特别说明。控制机械手的基本原理同样适用于控制机器人的其它装置。

可做为控制系统分类依据的主要特性是：

（1）控制运动的方式（程序控制系统、按照外界状态而作用的控制系统，包括适应性系统及复合控制系统）；

（2）控制装置的信号类型（连续作用系统和离散作用系统）；

（3）同时控制机器人的数目（单控系统和群控系统）；

（4）操作人员参与的特点（自动控制系统和自动化控制系统）。

下面根据这些特性进一步研究控制系统分类问题。

1. 机器人控制系统按控制运动的方式分类

根据这一特征，系统可分为程序控制系统，按照外界状态作用的控制系统以及同时采用这两种方式的复合控制

系统。

图1.1示出了第一类系统,即程序控制系统的方块图。图中,受控对象即是机械手。给机械手的每个运动自由度的传动系统施加控制作用,就可控制机械手。控制装置包括时间程序装置、信息变换器(变换由时间程序装置送来的信息)以及执行装置(它直接对机械手传动装置进行作用)。

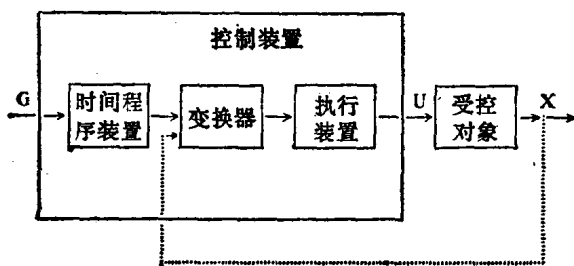


图 1.1

输出量 X 表征受控对象的状态。 X 是一个向量。它的各分量即是机器人机械手的各运动自由度的坐标。控制作用 U 简称控制,也是向量。控制作用由控制装置加到受控对象(指机械手所有运动自由度)的输入端。给定作用 G 简称给定。 G 包括输出量 X 要求的(或给定的)变化规律 $X_s(t)$ 的信息。 X_s 作为控制程序加给时间程序装置。控制目的就是保证等式 $X(t) = X_s(t)$ 成立。这里 X_s 是输出量 X 的给定值, X_s 是以程序形式给定的时间函数。若机械手每个传动装置都完全实现相应运动自由度的给定程序,则机械手就可以完全复现所要求的空间运动。

程序控制机器人的典型实例是第一代工业机器人,也就是几乎所有现今工业中采用的机器人。

编制程序(即图1.1中的 G) 的方法有:

8610051

(1) 按机械手给定轨迹的坐标来编制程序;

(2) 按工作范围内轨迹的坐标形式来编制程序。这就要求把这些坐标变换成机械手运动自由度的实时坐标。这种变换是由图1.1所示的变换器完成的;

(3) 按标准的操作名称(必须把完成操作的 实际条件具体化)来编制程序,或者按操作顺序来编制程序。这时,机器人控制装置根据G值能够自动计算出运动轨迹。为此,相应地要求有比较复杂的信息变换器(见图1.1),甚至要用电子计算机。这时,可以在机器人开始操作之前进行轨迹计算,也可以在机械手传动装置执行程序的过程中进行计算。但是,这种计算应比机械手执行程序提前一定的时间。

有两种计算轨迹的方法:求最优解的方法和在给定的范围内求出一个允许解的简单方法。

编制程序的方法不同,程序控制系统也不同。在一些控制系统中,通过计算机械手的运动轨迹来编制程序(可以在机器人之外计算运动轨迹,然后往时间程序装置中顺序地输入程序;也可以在机器人本身的控制装置内进行运动轨迹的计算)。在另外一些程序控制系统中,用示教法编制程序。所谓示教法就是:操作人员手控机器人或者是机器人的机械手由操作人员手动,使机械手产生机械位移,此时机器人完成所要求的动作,并把产生这个动作的控制作用(即信号)U记录下来。

按运动自由度的运动形式,系统可分为连续运动系统和离散运动系统。连续运动系统中每一个运动自由度的运动轨迹是连续的。离散运动系统中每一个运动自由度的运动是由程序给定的、不连续的、有限的点位序列。

完成连续运动的系统称为轮廓式控制系统。完成离散控

制运动的系统称为点位式控制系统。循环控制系统是点位式系统的最简单方案。在这种系统中,机械手每个运动自由度的每个坐标的程序点数目仅是起点和终点,有时再多几个中间点。现时的点位系统能够保证每个运动自由度有几十个,甚至上百个程序点。

当一个机器人的每个运动自由度采用不同类型的控制系统时,这种系统称为复合控制系统。

程序控制系统是最简单的系统。但是,只有在完成操作(在要求的精度范围内完成操作)的整个工作期间,工作条件完全确定和不变的情况下,才能采用这种系统。工作条件指的是外界环境、机器人本身的情况及控制目的。控制目的在机器人开始工作之前就应该完全确定下来。

机器人的程序控制系统可以是连续作用的或离散作用的开环控制系统和闭环控制系统。在闭环系统中输出量 X 有反馈(如图1.1中虚线所示)。在连续作用的系统中,不仅时间程序装置,而且机器人的所有其它装置都应是连续作用的。

在机器人第二类系统中,根据给定的目的实现对运动的控制不需要事先给定运动轨迹(程序)。而是按外界环境瞬时状态实现控制。外界环境的瞬时状态是用相应的感受装置确定的。图1.2示出了控制有知觉的机器人的方块图。图中的敏感装置即是感受装置。 F ——外部作用向量,它仅代表外界环境的变化。在这种情况下,是按输出量 X 的差异函数进行控制。差异就是机械手与目标(存在于外界环境中,并由向量 G 给定)的坐标之间的差值。这一类控制系统通常是闭环的,也就是有外部反馈的系统,如图1.2所示。

具有这种控制系统的机器人称为有知觉的机器人。这种机器人的控制比程序控制复杂得多。这是因为,不可能预先