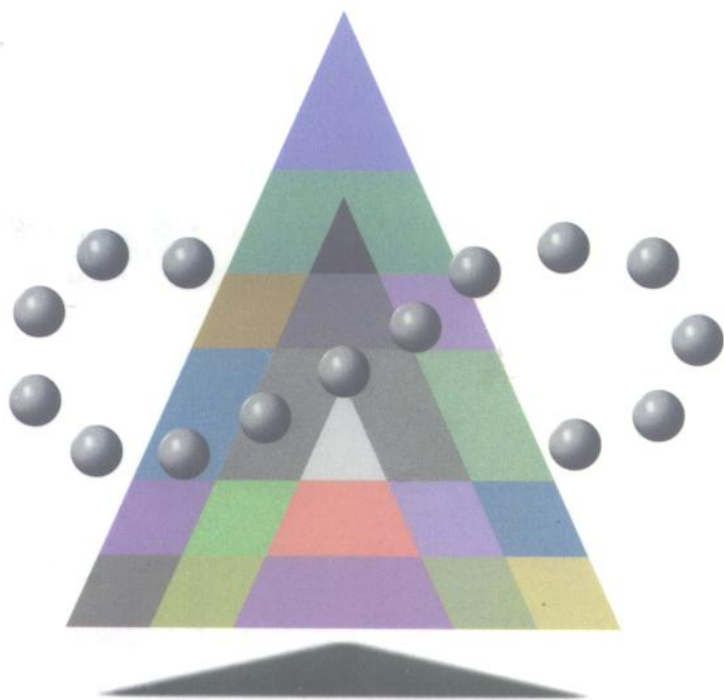


图解机电一体化入门系列

机器人控制入门

〔日〕 雨宫好文 主编 大熊 繁 著



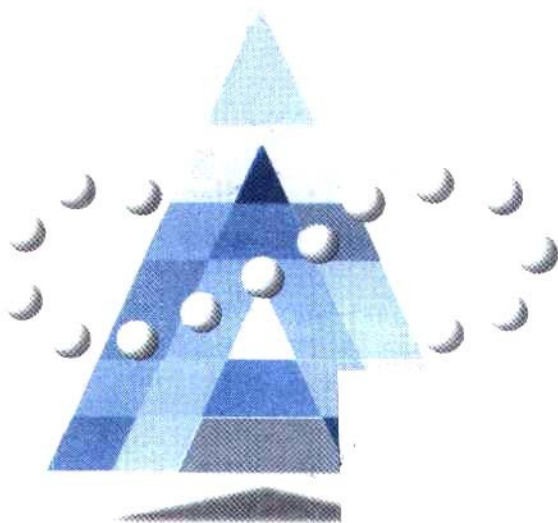
科学出版社 OHM社

图解

机电一体化入门系列

机器人控制入门

〔日〕雨宫好文 主编 大熊 繁 著
王益全 译 罗栉翼 校



科学出版社 OHM 社

2000 北京

目 录

第 1 章 机器人的动作与控制

1.1 位置控制	11
1.2 路径(运动轨迹)控制	16
1.3 力与刚性控制	19
1.4 动作顺序控制	20
1.5 机器人的种类	21

第 2 章 控制的思考方法

2.1 什么是控制	23
2.2 方框图	24
2.3 比例环节	28
2.4 积分环节	29
2.5 微分环节	33
2.6 一阶惯性环节	39
2.7 二阶振荡环节	43

第 3 章 环节的性能及描述方法

3.1 线性与非线性	49
3.2 时域性能的描述(动态响应法)	55
3.3 频域性能的描述(频率响应法)	62
3.4 波特图	66
3.5 矢量轨迹	68

第4章 拉普拉斯变换与传递函数

4.1 拉普拉斯变换	71
4.2 传递函数与方框图	77
4.3 方框图的等效变换	83
4.4 控制系统性能的设计指标	89

第5章 稳定性判别法

5.1 稳定与不稳定	95
5.2 赫尔维茨(Hurwitz)稳定性判别法 ...	101
5.3 奈奎斯特(Nyquist)稳定性判别法 ...	105

第6章 稳态特性(稳态误差)

6.1 目标值变化时的稳态误差	109
6.2 对外部扰动的稳态误差	113

第7章 动态特性

7.1 基于动态响应法的评价与设计	117
7.1.1 $3/(s^2 + 2s + 3)$ 的阶跃响应	117
7.1.2 阶跃响应的一般性讨论	120
7.1.3 基于动态响应法的设计	123
7.1.4 有多个特征根时	125
7.2 基于根轨迹法的评价与设计	130
7.2.1 特征方程式 $(1 + s/2)s + K = 0$ 的 根轨迹	130
7.2.2 基于根轨迹法的设计	132
7.2.3 反馈补偿	134

第 8 章 基于频率响应法的动态特性的评价与设计

8.1 相对稳定性(衰减性)与快速性的评价	137
8.2 增益补偿	142
8.3 相位滞后补偿	145
8.4 相位超前补偿	149
8.5 前馈补偿	153

第 9 章 采样控制

9.1 数字控制系统	155
9.2 A/D 转换器	157
9.3 D/A 转换器	162
9.4 数字计算机的运算	164
9.5 闭环脉冲传递函数	167
9.6 脉冲传递函数 $D(z)$ 的确定方法	168
参考文献	171

TP24
D08

457707

图解

机电一体化入门系列

机器人控制入门

〔日〕雨宫好文 主编 大熊 繁 著
王益全 译 罗转翼 校



00457707

科学出版社 OHM 社
2000 北京

TP24
D08

图字: 01 - 1999 - 2933 号

Original Japanese edition

Zukai Mekatoronikusu Nyuumon Shirizu: Robotto Seigyo Nyuumon

Supervised by Yoshifumi Amemiya

Written by Shigeru Ohkuma

Copyright © 1984 by Shigeru Ohkuma

published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd. and Science Press.

Copyright © 1999

All rights reserved.

本书中文版版权为科学出版社和 OHM 社所共有

图解メカトロニクス入門シリーズ

ロボット制御入門

大熊 繁 オーム社 1998 第 1 版第 13 刷

图书在版编目(CIP)数据

机器人控制入门/(日)大熊 繁著;王益全译. - 北京:科学出版社, 2000

ISBN 7-03-008049-1

I. 机… II. ①大… ②王… III. 机器人控制 - 基本知识
IV. TP24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 66660 号

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

北京东方科龙电脑图文制作有限公司 制作

中国科学院印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

2000 年 1 月第 一 版 开本: 889×1194 1/32

2000 年 1 月第一次印刷 印张: 5 3/8

印数: 1—5 000 字数: 140 000

定 价: 16.50 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈北燕〉)

译者序

机器人是人类 20 世纪的伟大发明之一。作为一种新型的生产工具,在减轻劳动强度,提高劳动生产率,把人从危险、恶劣的环境下解放出来等方面显示出极大的优越性。机器人产业已成为当代应用广泛、发展迅速的高技术产业之一。

日本是世界上机器人技术最为先进的国家,有关机器人的知识也相当普及,素有“机器人王国”之称。而在我国,特别是在青少年中,机器人知识的普及还远远不够。译者有幸把本书介绍给年轻的读者们,就是想让读者了解一些有关机器人控制的入门知识。但要想深入、系统地掌握这些知识,至少还要通过大学阶段的学习才行。本书对理论部分采用深入浅出的讲解方法,使读者接受起来不感到困难;书中大量的插图能帮助读者理解和记忆;书中小博士的引导和体会更能帮助读者思考,增加读完本书的勇气和兴趣。其实,难与不难是相对的,一切都在于自己的努力。

这里要感谢大熊繁先生和日本欧姆出版社为我们出了一本好书。还要感谢科学出版社给了翻译出版本书的机会。

沈阳工业大学罗栉翼教授对本书进行了仔细审校,提出了很多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于译者水平有限,错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。

王益全

主 编 的 话

本书是图解机电一体化系列中的一卷。在电子化时代到来的时刻,做为机械技术人员如不学习电子技术,必将落后于时代。所谓机械电子技术,不仅限于机器人和数控技术,即使对钟表、缝纫机等,通过引进电子技术,也可以提高精度,起到小型化,多样化,降低成本等作用。因此,机电一体化是一种“在机械产品上加入电子技术,以提高其功效的技术”。

为便于学习这门新技术,在充分考虑到初学者需学习哪些内容才能取得最佳效果的前提下,最终编写了下面 6 本书

- (1)传感器入门
- (2)控制用电机入门
- (3)接口电路入门
- (4)控制用微机入门
- (5)电子机械控制入门
- (6)机器人控制入门

由于机电一体化专业是由名古屋大学于 1982 年在全国首先开设的,因此,作为主编,我认为从我的身边选择撰稿人是非常合适的。但愿本书能对提高大家的实际工作能力。对进一步发展电子技术有所贡献。也希望此书能满足大家的学习要求。

雨宫好文

前 言

本书是为首次学习“控制”，并且希望能比较轻松地了解“控制”的人而写的。书的前半部分为培养对“控制”的感觉介绍了必要的基础知识；后半部分则以机器人位置的控制为例，在纸上来品味“控制”。由于是以轻松了解“控制”为目的，书中尽量采用简明的表述，而省略了详细的推导和证明。在考虑机器人位置控制的过程中，如果能让你恍然大悟地说“对、对，控制就是这样子的”就达到了本书的目的了。

构成机电一体化要素中，有传感器、驱动器、控制用微型计算机以及作为接口的电子电路等。这些要素功能的综合就是“控制”。在机电一体化所采用的控制中，有程序控制和反馈控制两种。关于程序控制，将在这套丛书的《电子机械控制入门》中介绍。本书则以反馈控制为中心讲述。

书中给出了很多电路的例子，即使是电气基础知识较薄弱的人也能理解，因而不必担心。

最后，对给予本书执笔机会，并且从策划到校正都给予了悉心指导的雨宫好文先生表示衷心感谢，对绘制每章篇首插图的画家竹内佳子女士以及为承担出版作出贡献的欧姆社（OHMSHA）的诸位深表谢意。

大熊 繁

目 录

第 1 章 机器人的动作与控制

1.1 位置控制	11
1.2 路径(运动轨迹)控制	16
1.3 力与刚性控制	19
1.4 动作顺序控制	20
1.5 机器人的种类	21

第 2 章 控制的思考方法

2.1 什么是控制	23
2.2 方框图	24
2.3 比例环节	28
2.4 积分环节	29
2.5 微分环节	33
2.6 一阶惯性环节	39
2.7 二阶振荡环节	43

第 3 章 环节的性能及描述方法

3.1 线性与非线性	49
3.2 时域性能的描述(动态响应法)	55
3.3 频域性能的描述(频率响应法)	62
3.4 波特图	66
3.5 矢量轨迹	68

第4章 拉普拉斯变换与传递函数

4.1 拉普拉斯变换	71
4.2 传递函数与方框图	77
4.3 方框图的等效变换	83
4.4 控制系统性能的设计指标	89

第5章 稳定性判别法

5.1 稳定与不稳定	95
5.2 赫尔维茨(Hurwitz)稳定性判别法 ...	101
5.3 奈奎斯特(Nyquist)稳定性判别法 ...	105

第6章 稳态特性(稳态误差)

6.1 目标值变化时的稳态误差	109
6.2 对外部扰动的稳态误差	113

第7章 动态特性

7.1 基于动态响应法的评价与设计	117
7.1.1 $3/(s^2 + 2s + 3)$ 的阶跃响应	117
7.1.2 阶跃响应的一般性讨论	120
7.1.3 基于动态响应法的设计	123
7.1.4 有多个特征根时	125
7.2 基于根轨迹法的评价与设计	130
7.2.1 特征方程式 $(1 + s/2)s + K = 0$ 的 根轨迹	130
7.2.2 基于根轨迹法的设计	132
7.2.3 反馈补偿	134

第 8 章 基于频率响应法的动态特性的评价与设计

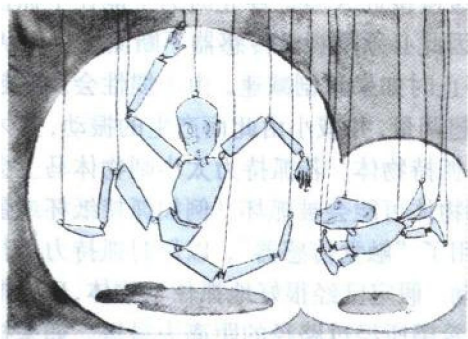
8.1 相对稳定性(衰减性)与快速性的评价	137
8.2 增益补偿	142
8.3 相位滞后补偿	145
8.4 相位超前补偿	149
8.5 前馈补偿	153

第 9 章 采样控制

9.1 数字控制系统	155
9.2 A/D 转换器	157
9.3 D/A 转换器	162
9.4 数字计算机的运算	164
9.5 闭环脉冲传递函数	167
9.6 脉冲传递函数 $D(z)$ 的确定方法	168
参考文献	171

第 1 章

机器人的动作与控制



1.1 位置控制

使机器人的手、臂等到达目标位置的控制称为位置控制。研究一下图 1.1 所示的机器人把物体从 A 点向 B 点移动的操作。首先,让手接近所看到的位于 A 点的物体,使手接触并抓住物体。然后转动手臂使物体从 A 点向 B 点移动。到达 B 点后将手放开。现在就让机器人来做这个简单的工作。

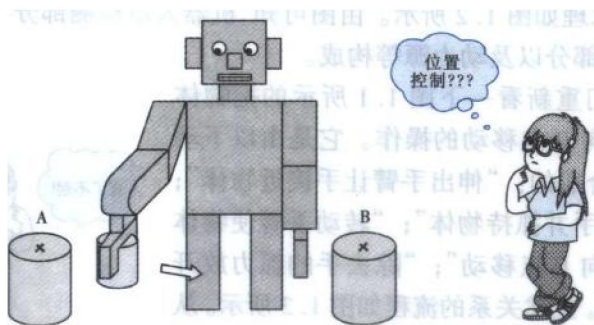


图 1.1 从 A 点向 B 点的移动

首先,机器人必须看到位于A点的物体。如果机器人用“眼睛”来看物体的话,那么机器人必须有视觉。机器人的“眼睛”称为**视觉传感器**。知道了物体位于A点之后,装在手臂内作为“动力源”的电机、油缸等开始动作,使作为驱动器可动部分的手接近物体。若手慢慢接近物体会使工作效率低下。应该首先让手快速移动,临近物体时减速并缓慢接近A点。停止时为了能让手抓住物体,应恰好停在A点。因此必须用视觉传感器不断测量目标A点与现在位置的距离。停止时如果急剧减速,由于惯性会发生超调(过调节)。因此,减小超调量,并减小由此而产生的振动,这才是好的控制。然后是用手抓持物体。若抓持力太小则物体马上会掉下去;若抓持力过大则物体可能会被抓坏(例如抓持纸杯或蛋类等)。因此在手指尖采用了“触觉传感器”,以便对抓持力进行调整,使物体在手中不滑动。假定已经很好地抓住了物体,现在把它从A点移向B点,当然希望所经过路径的距离为最短。如果机器人持物运动时遇有障碍物,不能按最短距离移动,那么移动路线应事先确定。与接近A点时的情况相同,首先以高速接近B点,然后降速,由传感器测量目标B点与当前位置的距离而恰好停止在B点。最后把手松开放下物体。

上述动作中,从**传感器**(检测部分)获得位置、速度、滑动等信息,送到作为头脑的**计算机**(控制部分),计算出手臂的移动速度、作用于手臂的力,以及手的抓持力等。然后将计算结果送到**驱动器**。其原理如图1.2所示。由图可知,机器人由检测部分、控制部分、驱动部分以及动力源等构成。

我们重新看一下图1.1所示的把物体从A点向B点移动的操作。它是由以下动作连续合成的:“伸出手臂让手接近物体”;“施力于手并抓持物体”;“转动手臂使物体从A点向B点移动”;“除去手的抓力放开物体”等。上述关系的流程如图1.3所示。从符号**开始**出发,首先向A点伸展手臂,检测手是否到达A点,如果没有到达则进一步伸展手

