

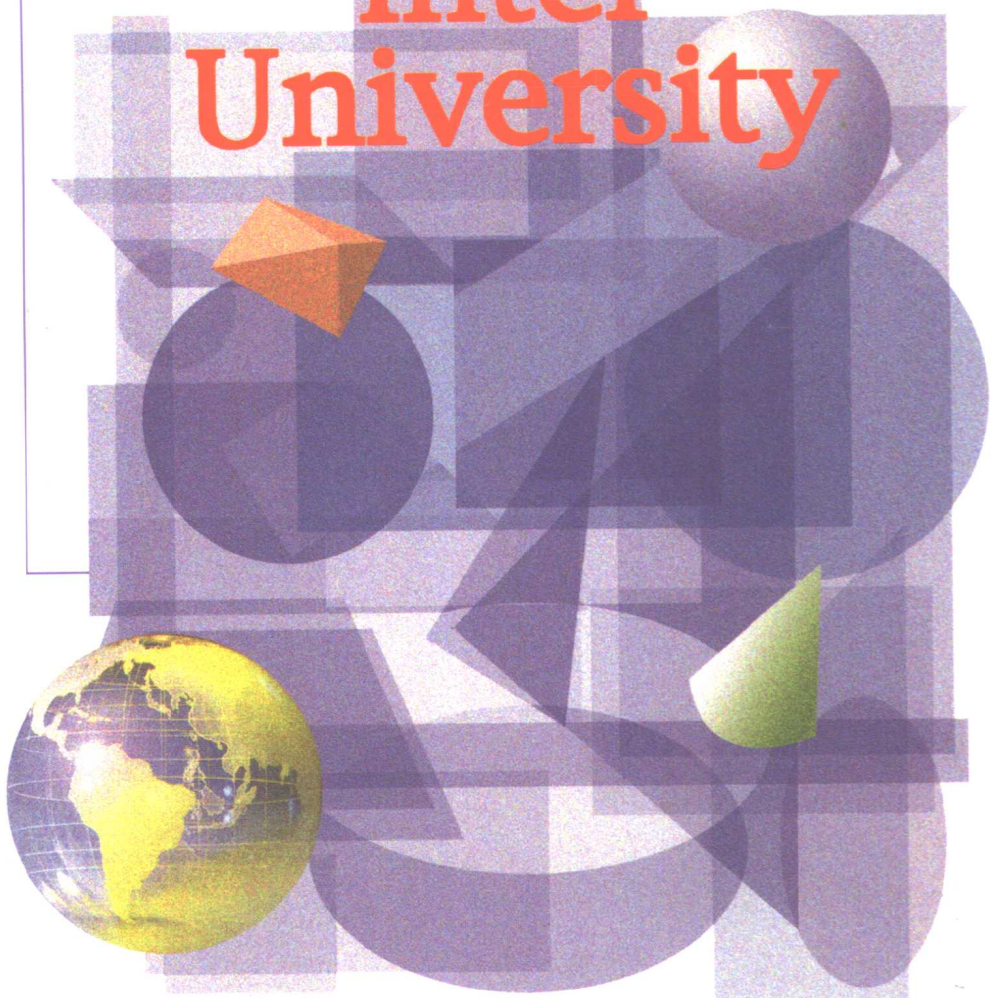
IU

21世纪大学新型参考教材系列

# 机器人控制

〔日〕大熊 繁 编著

## Inter University



科学出版社

OHM社

世纪大学新型参考教材系列

# 机器人控制

[日] 大熊 繁 编著

卢伯英 译



科学出版社 OHM 社

2002. 北京

**图字:01-2002-0290 号**

Original Japanese edition

Interuniversity Robot Seigyo

Edited by Shigeru Ohkuma

Copyright © 1998 by Shigeru Ohkuma

Published by Ohmsha, Ltd.

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

Copyright © 2002

All rights reserved

本书中文版权为科学出版社和 OHM 社所共有

インターユニバーシティ

ロボット制御

大熊 繁 オーム社 1998

**图书在版编目 (CIP) 数据**

机器人控制/(日)大熊·繁编著;卢伯英译. —北京:科学出版社,2002  
(21 世纪大学新型参考教材系列)

ISBN 7-03-010029-8

I. 机… II. ①大… ②卢… III. 机器人控制 - 高等学校 - 教材 IV. TP24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 004043 号

北京东方科龙图文有限公司 制作

heep://www.okbook.com.cn

**科学出版社 OHM 社 出版**

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

http://www.sciencep.com

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2002 年 3 月第 一 版 开本: A5(890 × 1240)

2002 年 3 月第一次印刷 印张: 4 5/8

印数: 1—5 000 字数: 132 000

**定 价: 12.00 元**

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

# 前 言

“机器人”这个词,是捷克斯洛伐克剧作家卡雷洛·查普茨库在 1920 年发表的著作《罗萨姆万能机器人公司 R·U·R》中,首先创造出来的。书中出现的机器人是一种不能进行思考,只会从事劳动的人。实际上,能够代替人在工厂劳动的机器人,是在 20 世纪 60 年代出现的。伴随着硬件和软件的不断进步,直到 20 世纪 80 年代,机器人才真正获得了普遍的应用。今天,机器人不仅在工厂中,就是在办公室内和家庭中也得到了广泛的应用。由于计算机的不断发展,不能进行思考的机器人也开始具有了学习的能力,逐渐变成了聪明伶俐的机器人。

这样,机器人不仅在产业界获得了广泛应用,而且还渗透到了人们的家庭生活中。支撑机器人的技术,是一种综合性的技术,包括机械工程学、电气工程学、控制工程学、信息工程学,甚至人类工程学等广泛的领域。因此,一些有关机器人的教科书,往往都罗列一些零零星星的知识,缺乏系统性。

本书试图从控制的角度,将机器人学科加以系统化。如何方便地操作机器人,是构造机器人的基本观点。人类通过五官采集外界和身体内部的信息,这些信息和上级下达的命令,经过头脑思考作出行动的决定,从而使手和足做出相应的动作。

本书首先在第 1 章中介绍有关机器人控制的学习方法,然后在第 2 章介绍为手和足的运行提供动力的执行器。其次,作为五官部分的传感器,将在第 3 章介绍。在第 4 章中介绍执行器中广泛应用的电动机的控制方法。电动机与连接的辅助机械系统的动态特性,将在第 5 章中介绍。机器人是这样一种机构,它一方面作为机器人本体被固定在基座上;另一方面,由关节连接在一起的连杆部分,则可以在空间自由地运动。在第 6 章中介绍机器人的前端位置和姿态,与各关节联系在一起的座标变换问题。第 7 章介绍具有多个关节和连杆的机器人的动态特性。通过上述各章的介绍,希望

读者能学习到机器人各构成单元的技术,机器人的构造及其动态特性。

最后,在本书出版之际,请允许我向编辑委员会主任家田正之先生表示衷心的感谢,同时,对本书的各位执笔者在撰写过程中付出的劳动表示深切的敬意。

大熊 繁

## 编著者、著者简历

### 大熊 繁

编著,执笔: 1章,5章  
1977年 名古屋大学研究生院工学研究科博士毕业  
1978年 获工学博士  
现在 名古屋大学研究生院工学研究科电气工程专业教授

### 松井信行

执 笔: 4章  
1968年 名古屋工业大学研究生院工学研究科硕士毕业  
1976年 获工学博士  
现在 名古屋工业大学工学部电气信息工程专业教授

### 土田缝夫

执 笔: 2章  
1972年 名古屋大学研究生院工学研究科博士毕业  
1975年 获工学博士  
现在 丰田工业大学工学部控制信息工程专业教授

### 铃木达也

执 笔: 6章,7章  
1991年 名古屋大学研究生院工学研究科博士毕业  
1991年 获工学博士  
现在 名古屋大学研究生院工学研究科电气工程专业讲师

### 加藤厚生

执 笔: 3章  
1962年 爱知工业大学工学部电气工程专业毕业  
1990年 获工学博士  
现在 爱知工业大学工学部电子工程专业教授

## 译者简历

### 卢伯英

1960年 哈尔滨军事工程学院航空自动控制专业毕业  
现在 北京航空航天大学电子工程系教授

本书著作权和专有出版权受到《中华人民共和国著作权法》的保护。凡对本书的一部分或全部进行转载、或用复印机进行复制或是在其它场合引用、以及录入电子设备等行为,均属侵害著作权,构成违法。

本书如需复制、引用、转载、改编时,必须得到版权所有者的许可。

如有任何疑问请与以下部门联系。联系时请尽量使用信函或传真形式。

科学出版社总编合作部 电话:010-64034529 传真:010-64019810

邮政编码:100717 地址:北京市东黄城根北街16号

<http://www.sciencep.com>

北京东方科龙图文有限公司 电话:010-82843276 32843277 传真:010-82842304

邮政编码:100029 地址:北京市朝阳区华严北里11号楼3层

<http://www.okbook.com.cn>

电气能源基础  
等离子体电子工程学  
电力系统工程学  
电气电子材料  
高电压/绝缘工程学  
电动机  
电力电子学

## 电气能源

逻辑电路与自动机械  
计算机工程学  
程序语言设计  
信息传送和符号的理论  
信息通信工程学  
信息网络

## 信息通信

## 公共基础

电磁学A  
电磁学B  
电气电路A  
电气电路B  
电子电路A  
电子电路B  
电气数学  
信息数学  
程序设计

## 测量 · 控制

系统与控制  
信号分析  
传感测量  
柔性信息处理  
机器人控制

## 为了适应21世纪的要求

面向21世纪，日本各大学进行了系与学科的改编、研究生院的调整、导入两期制等。伴随着这些调整，现有的教材已不能适应现代学生的水平和兴趣要求。因此就要求有一套从版面到内容都更新颖的教科书。

本系列正是考虑到这种新的要求，经过不断深入考察和讨论，按照全新的整体编排形式制作完成的新型教材。曾荣获第七届日本工科教育协会奖「业绩奖」。

### 21世纪大学新型参考教材系列 编辑委员会

## 电子器件

电子物性  
半导体工程学  
电子器件  
集成电路A  
集成电路B  
光电子学

主任委员：家田正之  
编委：稻垣康善（名古屋大学）  
白井支朗（丰桥技术科学大学）  
梅野正义（名古屋工业大学）  
大熊 繁（名古屋大学）  
绳田正人（名城大学）



21 世纪大学新型参考教材系列

机器人控制

编者:大熊 繁 (名古屋大学)

执笔:土田缝夫 (丰田工业大学)

加藤厚生 (爱知工业大学)

松井信行 (名古屋工业大学)

铃木达也 (名古屋大学)

# 目 录

<b>1 机器人控制基础</b>	1.1 机器人应具备的功能	2
	1.2 本书的构成	2
	1.3 规划和控制	3
	练习题	4
<b>2 机器人采用的各种执行器</b>	2.1 力是怎样产生的	6
	2.2 电磁执行器	8
	2.3 线性电磁执行器	18
	2.4 油压执行器	19
	2.5 气压执行器	21
	2.6 未来的执行器	22
	练习题	28
<b>3 机器人采用的各种传感器</b>	3.1 生物传感器和机器人传感器	32
	3.2 机器人中必要的基本传感器	40
	3.3 增强机器人功能的传感器	48
	练习题	54
<b>4 电动机的控制</b>	4.1 怎样实现对电动机的控制	56
	4.2 怎样改变电动机的速度	60
	4.3 电动机和机械的动态特性分析	66

4.4 怎样正确控制动态特性 .....	69
练习题 .....	73
<b>5 机械系统的控制</b>	
5.1 机器人手指位置的确定 .....	76
5.2 设计方法 .....	77
5.3 电动机 .....	78
5.4 驱动器 .....	80
5.5 检测位置用的脉冲编码器(PE)和检测速度用的 测速发电机(TG) .....	80
5.6 直流电动机的传递函数表示法 .....	81
5.7 位置控制和速度控制 .....	85
5.8 通过实验识别传递函数 .....	87
5.9 通过比例积分微分(PID)补偿改善系统特征 ...	87
5.10 通过 IPD 补偿改善系统特性 .....	90
5.11 电流控制 .....	90
5.12 不产生速度模式的位置控制 .....	93
5.13 力控制 .....	93
练习题 .....	94
<b>6 机器人运动学</b>	
6.1 机器人的正向运动学 .....	96
6.2 机器人的逆向运动学 .....	102
6.3 机器人的雅可比矩阵 .....	104
6.4 机器人的静力学和雅可比矩阵 .....	109
练习题 .....	110
<b>7 机器人控制</b>	
7.1 机器人动力学 .....	114
7.2 机器人的轨迹控制 .....	118
7.3 机器人的力控制 .....	120
练习题 .....	124

练习题解答 .....	125
参考文献 .....	133

### 篇外话

机器人必须遵守的规则 .....	3
何谓交流 .....	11
齿轮的摇摆和间隙 .....	17
磁路和磁阻 .....	18
油压和气压 .....	22
十进制和二进码 .....	44
BCD 码 .....	44
速率陀螺仪 .....	53
何谓半闭合(环路)方式 .....	77
间隙和不灵敏带 .....	77
把作直线运动的质量 $M$ 转换成转动惯量 $J$ .....	78
利用脉冲编码器检测速度 .....	82
拉普拉斯变换和拉普拉斯反变换 .....	83
不完全积分和不完全微分 .....	89
$A$ 矩阵中的各元素 .....	99
机器人的逆向运动学问题 .....	103
转动惯量矩阵 .....	116

# 机器人控制基础

本章首先研究机器人应具备的必要功能。其次将依据本书的构成,阐述要研究的内容。最后,还要说明今后学习机器人控制规划的重要性。

## 1.1 机器人应具备的功能

设图 1.1 所示的机器人为棒球投手“野母君”。野母君首先与教练交换信息,因而必须具备理解教练命令的功能。例如,当教练发出“在内场让击球员出局”的命令时,野母君随即便利用其感觉功能,对击球员的情况和自身的条件进行判断。然后,利用过去的经验,并通过自己头脑的决策功能,确定投出什么样的球比较好。例如,设确定“投出靠近击球员的高速球”。在实现这个决定时,具有运动功能的手,躯体和足便开始动作,并且把球投掷出去。结果进行得很顺利,击球员内场出局,这个经验又被机器人重新记忆在头脑中。

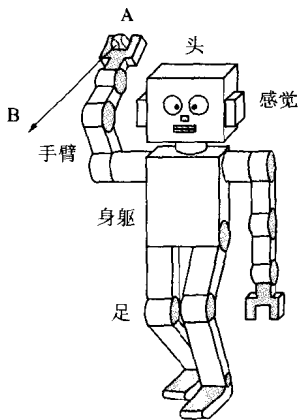


图 1.1 机器人“野母君”

这种机器人必须具有感觉功能,运动功能,以及意向决策功能和对话功能。

现在的机器人,有正在产业界应用的产业机器人,和处于研究阶段的智能机器人。智能机器人必须具备上述的所有功能,但是对于重复进行相同工作的产业机器人来说,只要具有感觉功能和运动功能,进而具备一些简单的控制功能和对话功能就可以了。因为本书是为学习机器人的控制而编写的教科书,所以只涉及到产业机器人范畴的有关内容。

## 1.2 本书的构成

本书前两章将研究执行器。一般的执行器,有电磁执行器、油压执行器和气压执行器等。书中将介绍这些执行器的力的产生方法,同时还将介绍一些新型的执行器。

在第3章中将研究有关传感器的问题,介绍传感器的种类和使用方法,并且介绍一些新型的传感器。

在第4章中,将介绍电动机的控制方法,这种电动机在执行器中获得了广泛应用。此外,本章还要实现对直流电动机和感应电动机的位置和速度控制。

在第5章中,将应用控制理论,对带有机电系统的电动机,进行定量的分析研究。这里将会用到拉普拉斯变换、传递函数以及方框图等,建议读者参考阅读本系列中的《系统与控制》一书。

第6章介绍机器人的前端位置和姿态,与各关节变位量相关的座标变换。读者应具备矩阵应用方面的知识。

第7章介绍由关节和连杆构成的机器人的特有控制方法。

#### 机器人必须遵守的规则

阿西莫夫机器人工程学三原则:

- 第1条原则 机器人不应对人类造成危害。另外,即使因人们的疏忽而造成的危险,也不能对人们产生有害的影响。
- 第2条原则 机器人必须服从人们发出的命令。但是,当人们发出的命令与第1条原则相违背时,不再受该条原则限制。
- 第3条原则 在不担心违反上述第1条原则和第2条原则的情况下,机器人必须能自我保护。

(福岛正美译)

---

## 1.3 规划和控制

---

在用机器人完成某项作业时,必须确定在作业空间中,机器人手指的三维位置和姿态。而且这种位置和姿态,由与机器人的关节相连接的多部电动机同时旋转来实现。

例如,图1.1中的野母君将球自A点运送至B点时,球从三维空间的A点移动到B点,这时为了改变手指的姿态,我们来求各个关节的旋转角度。

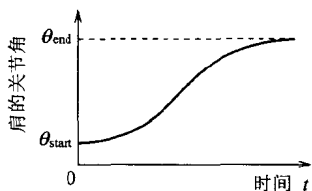


图 1.2 肩的关节角的目标轨迹

为此,有必要求出各个关节的角度是怎样随着时间的变化而变化的。在这种情况下,因为要考虑球的投掷情况,所以给出了图 1.2 所示的肩的关节角变化的目标值曲线。

给出这种目标轨迹后,就可以沿着这条目标轨迹,正确地实施轨迹控制。

当给出机器人的作业时,我们首先应该制定出规划,然后实施控制以实现这个规划。关于控制,本书在后面还要作进一步讨论,当今要求机器人进行智能作业的情况日益增多,因此规划工作也渐渐变得重要起来。

## 练习题

- 1 以人在通常情况下进行作业为例,说明当用机器人进行同样的作业时,机器人各种功能的作用。



## 机器人采用 的各种执行器

移动物体这种技术,是支撑现代社会的最重要技术。执行器可以说是这种技术的核心,本章将讨论执行器的工作原理和特性。

在自然界中,容易观察到的力有静电力、电磁力、空气和油的压力,以及弹簧的弹力等这样一些具有代表性的力。在这些力中,能够用到机器人执行器中的力,有电磁力和流体压力。