

高等院校信息技术规划教材

# 智能控制技术

罗兵 甘俊英 张建民 编著

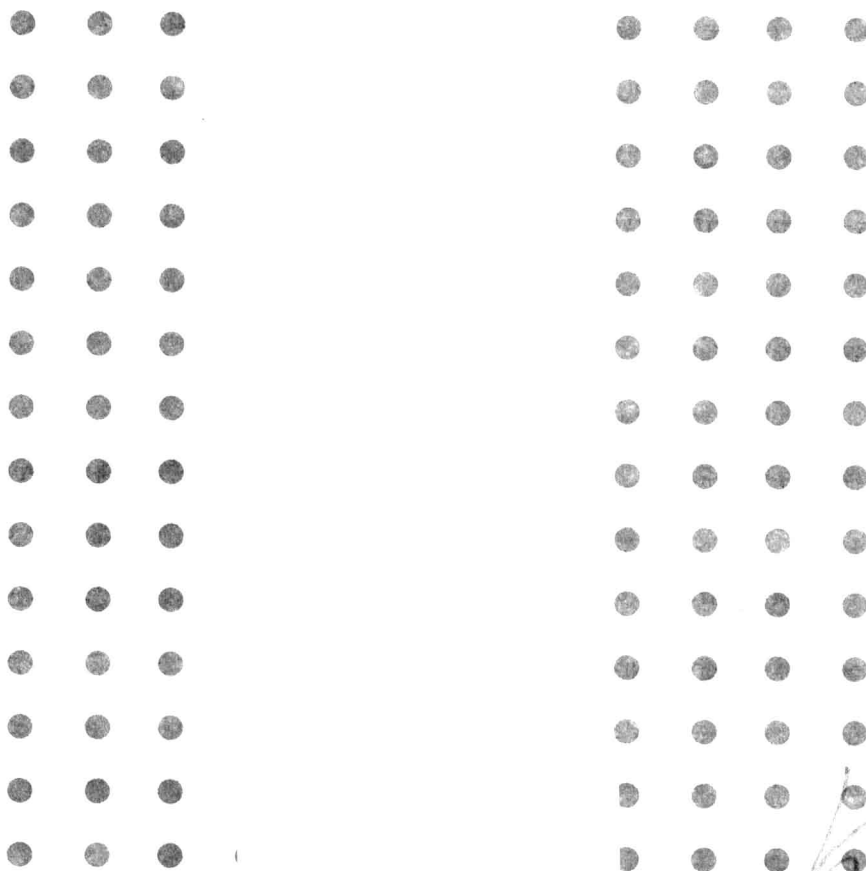


清华大学出版社

高等院校信息技术规划教材

# 智能控制技术

罗兵 甘俊英 张建民 编著



## 内 容 简 介

本书从自动控制工程应用的角度出发,系统地介绍了智能控制的基本理论和应用技术,同时结合MATLAB模糊控制、神经网络和遗传算法工具箱的使用介绍了智能控制系统的设计实现。读者在理论学习的同时,可以进行仿真和应用实验,有助于对智能控制理论的理解,掌握其技术应用方法,书后附有详细的实验指导书。

全书理论讲解深入浅出,语言通俗易懂,技术应用紧密结合工程实践。本书适合自动化、电气工程及其自动化、机电自动化专业的教学和自学,亦可供自动控制领域的科研人员和工程技术人员参考。

本书配有电子课件,欢迎读者通过 E-mail(ic\_courseware@163.com)索取。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

## 图书在版编目(CIP)数据

智能控制技术/罗兵,甘俊英,张建民编著. —北京:清华大学出版社,2011.3  
(高等院校信息技术规划教材)

ISBN 978-7-302-24614-5

I. ①智… II. ①罗… ②甘… ③张… III. ①智能控制—高等学校—教材

IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 012435 号

责任编辑:袁勤勇 徐跃进

责任校对:李建庄

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

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

社 总 机:010-62770175

投稿与读者服务:010-62795954,jsjic@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015,zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

邮 购:010-62786544



印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:15.75

字 数:396 千字

版 次:2011 年 3 月第 1 版

印 次:2011 年 3 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:22.00 元

产品编号:036730-01

# 前言

## Foreword

控制理论的发展,从公认的第一篇有关论文麦克斯韦(J. C. Maxwell)在 1868 年发表的论文“论调节器”(On Governors)算起,至今不过一百多年。在短短的百余年间,自动控制理论和技术飞速发展,对人类社会的进步产生了巨大的影响。从瓦特的蒸汽机、阿波罗登月到时速 350 千米的高速铁路运输,无处不显示着控制技术的威力。

控制理论发展经历了“经典控制理论”和“现代控制理论”的发展阶段,已进入了“大系统理论”和“智能控制理论”阶段。智能控制理论的研究和应用是现代控制理论在深度和广度上的拓展。信息技术、计算机技术和人工智能的快速发展及其他相关学科的发展与相互渗透,也推动了控制科学与工程研究的不断深入,控制系统向智能控制系统的发展已成为一种趋势。

目前,智能控制技术已发展进入实用化和工程化的阶段,智能控制技术已成为自动化工程技术人员必须掌握的专业知识与技术手段。为满足高校工科控制类专业面向工程的应用型人才培养的需要,特从经典的智能控制理论和最新应用文献中编著出本智能控制技术应用型教材,并在理论上着重介绍了具体技术的实现。参照本书的示例、程序和实验指导,读者可以理论结合实际动手进行智能控制系统的应用设计。

本书既介绍了智能控制的基本理论,更通过 MATLAB 相关工具箱的使用结合工程应用实例讲解,帮助读者理解智能控制理论、掌握其应用技术。全书共分 6 章,分别介绍模糊控制、神经网络控制、专家控制系统、仿人智能控制和遗传算法,每章附有习题,书后附有五个相关实验的实验指导,其中第 1、第 2、第 6 章和实验指导由罗兵编写,第 3 章由张建民、龙佳乐编写,第 4 章由寇冠中编写,第 5 章由张敏编写,张丽云、刘金生参与了部分插图绘制工作。全书由甘俊英教授统稿,章云教授审核全书并提出了宝贵的修改意见。

本书配有电子课件,欢迎选用本书的老师 and 同学们索取:

ic\_courseware@163.com

限于作者水平有限,难免有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

作者

2011年1月

# 目录

# Contents

第 1 章 绪论 .....	1
1.1 智能控制的起源和发展 .....	1
1.1.1 控制科学的起源和发展 .....	1
1.1.2 智能控制的起源和发展 .....	3
1.1.3 智能控制的多元结构描述 .....	4
1.2 智能控制的概念和技术特点 .....	5
1.2.1 智能控制的概念 .....	5
1.2.2 智能控制技术的特点 .....	5
1.2.3 智能控制系统的基本结构 .....	6
1.3 智能控制的主要类型 .....	7
1.3.1 模糊控制 .....	7
1.3.2 神经网络控制 .....	8
1.3.3 专家控制系统 .....	9
1.3.4 仿生智能控制 .....	10
1.3.5 学习控制系统 .....	10
1.3.6 递阶智能控制 .....	10
1.3.7 综合智能控制系统 .....	11
1.4 智能控制技术应用实例 .....	11
1.4.1 机器人智能控制系统 .....	11
1.4.2 地铁行驶智能控制系统 .....	12
1.4.3 智能飞行控制系统 .....	12
1.4.4 计算机集成制造系统 .....	13
1.5 智能控制技术的实现 .....	13
1.5.1 计算机控制技术 .....	13
1.5.2 智能控制系统设计 .....	14
思考题与习题 .....	16

<b>第 2 章 模糊控制</b> .....	17
2.1 模糊控制概述 .....	17
2.1.1 模糊控制的产生和发展 .....	17
2.1.2 模糊控制的概念和特点 .....	18
2.2 模糊控制的数学基础 .....	20
2.2.1 模糊集的概念 .....	20
2.2.2 隶属度函数及其值的确定 .....	25
2.2.3 模糊关系 .....	32
2.3 模糊推理系统原理及设计 .....	36
2.3.1 模糊逻辑 .....	37
2.3.2 模糊推理 .....	40
2.3.3 模糊推理系统的结构 .....	44
2.3.4 模糊推理系统的设计 .....	44
2.4 模糊控制原理及系统设计 .....	54
2.4.1 模糊控制系统的组成 .....	54
2.4.2 模糊控制系统的设计 .....	56
2.4.3 模糊控制的快速查表法 .....	58
2.4.4 模糊 PID 控制 .....	61
2.5 MATLAB 模糊逻辑工具箱的使用 .....	66
2.5.1 图形用户界面下建立模糊推理系统 .....	66
2.5.2 模糊逻辑工具箱的函数命令 .....	70
2.5.3 模糊控制系统的仿真 .....	71
2.5.4 模糊控制系统仿真示例 .....	75
2.6 模糊控制工程应用实例 .....	82
2.6.1 模糊控制全自动洗衣机 .....	82
2.6.2 船舶减摇的模糊控制技术 .....	86
2.6.3 地铁机车的模糊控制 .....	88
2.6.4 蒸汽机模糊控制系统 .....	91
2.7 本章小结 .....	95
习题 .....	95
<b>第 3 章 神经网络控制</b> .....	99
3.1 神经网络的理论概述 .....	99
3.1.1 生物神经元模型 .....	99
3.1.2 人工神经元模型 .....	100
3.1.3 神经网络模型 .....	101

3.1.4	神经网络分类	102
3.1.5	神经网络的学习规则	103
3.1.6	用于控制的神经网络	104
3.1.7	神经网络控制的研究内容	105
3.2	前馈网络及其 BP 学习算法	106
3.2.1	感知器	106
3.2.2	径向基函数神经网络	107
3.2.3	BP 网络	108
3.2.4	BP 学习算法	109
3.2.5	改进型 BP 算法	112
3.2.6	BP 网络仿真实例	115
3.3	反馈网络及其他网络结构	116
3.3.1	Hopfield 网络	116
3.3.2	Boltzmann 机网络	117
3.3.3	双向联想记忆网络	119
3.3.4	Hamming 网络	120
3.3.5	Kohonen 网络	121
3.4	神经网络控制器原理及设计	122
3.4.1	概述	122
3.4.2	神经网络控制的结构	122
3.4.3	基于单神经元 PID 控制	126
3.4.4	仿真实例	128
3.5	模糊神经网络控制及其应用	128
3.5.1	模糊神经元	129
3.5.2	模糊神经网络	130
3.5.3	模糊神经网络控制器	131
3.6	MATLAB 神经网络工具箱的使用	135
3.6.1	MATLAB 工具箱的神经元模型	135
3.6.2	MATLAB 工具箱中的神经网络结构	135
3.6.3	MATLAB 工具箱函数	138
3.6.4	仿真实例	141
3.7	神经网络控制系统应用实例	143
3.7.1	神经网络在故障模式识别中的应用	143
3.7.2	基于 BP 网络的电力电子电路故障诊断	145
3.7.3	洗衣机的神经网络模糊控制器的设计	148
3.8	本章小结	152
	习题	153



<b>第 4 章 专家控制系统</b> .....	154
4.1 专家系统概述 .....	154
4.1.1 专家系统的起源和发展 .....	154
4.1.2 专家系统的结构 .....	157
4.1.3 专家系统的特点 .....	163
4.1.4 专家系统的建立 .....	164
4.2 专家控制系统的结构和原理 .....	165
4.2.1 专家控制系统概述 .....	165
4.2.2 专家控制系统的结构和原理 .....	166
4.2.3 专家控制器 .....	167
4.3 专家系统与其他智能方法的结合 .....	170
4.3.1 模糊专家控制系统 .....	170
4.3.2 神经网络专家系统 .....	173
4.4 混凝土成品料温专家控制系统工程实例 .....	174
4.4.1 混凝土成品料温专家控制系统的结构 .....	174
4.4.2 成品料温专家控制系统的实现 .....	175
4.4.3 实际控制效果 .....	177
4.5 本章小结 .....	178
习题 .....	179
<b>第 5 章 仿人智能控制</b> .....	180
5.1 仿人智能控制的原理 .....	180
5.1.1 仿人智能控制的基本思想 .....	180
5.1.2 仿人智能控制的算法原型 .....	181
5.1.3 仿人智能控制器算法原型中的智能属性 .....	184
5.2 仿人智能控制技术的实现 .....	184
5.2.1 仿人智能控制的瞬态性能指标 .....	184
5.2.2 仿人智能控制系统的设计方法 .....	187
5.3 仿人智能控制系统的设计 .....	188
5.4 仿人智能控制实例 .....	190
5.4.1 仿人智能开关控制 .....	190
5.4.2 仿人智能比例控制 .....	192
5.4.3 仿人智能积分控制 .....	193
5.4.4 仿人分层递阶智能控制器 .....	195
5.5 本章小结 .....	196
习题 .....	196

<b>第 6 章 遗传算法</b> .....	197
6.1 遗传算法的原理与特点 .....	197
6.1.1 遗传算法的基本原理 .....	197
6.1.2 遗传算法的处理过程 .....	198
6.1.3 遗传算法的特点 .....	199
6.2 遗传算法的基本操作 .....	200
6.2.1 个体编码 .....	200
6.2.2 遗传算法的参数设定 .....	202
6.2.3 选择操作 .....	205
6.2.4 交叉操作 .....	206
6.2.5 变异操作 .....	207
6.3 MATLAB 的遗传算法工具箱 .....	208
6.3.1 遗传算法工具箱概述 .....	208
6.3.2 遗传算法工具箱的使用 .....	211
6.4 遗传算法在智能控制中的应用 .....	218
6.4.1 遗传算法在模糊控制中的应用 .....	219
6.4.2 遗传算法在神经网络中的应用 .....	221
6.5 遗传算法的改进 .....	223
6.5.1 遗传算法的不足 .....	223
6.5.2 改进的遗传算法 .....	224
6.6 本章小结 .....	227
习题 .....	227
<b>附录 A 实验指导书</b> .....	229
A.1 实验一 基于 MATLAB 的模糊控制系统设计 .....	229
A.1.1 实验内容 .....	229
A.1.2 实验步骤 .....	229
A.2 实验二 双容水箱液位模糊控制系统设计 .....	231
A.2.1 实验内容 .....	231
A.2.2 实验步骤 .....	232
A.3 实验三 基于 MATLAB 的神经网络设计 .....	233
A.3.1 实验内容 .....	233
A.3.2 实验步骤 .....	233
A.4 实验四 水箱液位的仿人智能控制系统设计 .....	235
A.4.1 实验内容 .....	235

A. 4. 2 实验步骤 .....	235
A. 5 实验五 应用遗传算法求解优化问题 .....	236
A. 5. 1 实验内容 .....	236
A. 5. 2 实验步骤 .....	236
<b>参考文献</b> .....	<b>238</b>

# 绪 论

经典控制理论和现代控制理论统称为传统控制理论,其主要特点是基于模型的控制。经典控制理论主要是基于控制对象和控制系统的微分方程,现代控制理论主要是基于控制对象的状态方程。随着工业生产的发展和控制技术广泛应用经济、社会、环境等多个领域,被控对象越来越复杂,更多地表现为高度的非线性、时变性和系统的不确定性,这些特性使得被控对象难以用精确的数学模型来描述,基于数学模型的传统控制方法难以解决对这些复杂对象的控制问题。

智能控制是人工智能与控制理论相结合的产物,借助于计算机技术的快速发展而得以实现,它是传统控制理论发展的高级阶段。智能控制是多学科交叉的学科,它的发展得益于人工智能、认知科学、模糊集理论、计算机科学、人工神经网络和生物控制论等许多学科的发展,同时也促进了相关学科的发展。智能控制本身也是发展较快的新兴学科,尽管其理论体系还远没有传统控制理论那样成熟和完善,但智能控制技术的应用取得了大量的成果,特别是在传统控制技术控制效果不好的领域和针对复杂被控对象和系统的控制应用。随着工业生产自动化技术的快速发展和应用,以及控制论推广应用到更多的学科领域,智能控制理论研究和技术应用都将引起更多的重视,它和传统控制技术一起将进一步提高自动控制的性能。

本章介绍智能控制的起源和发展,讨论其概念、特点,介绍智能控制的主要类型和现有的技术应用,并介绍如何设计智能控制系统。

## 1.1 智能控制的起源和发展

### 1.1.1 控制科学的起源和发展

18世纪中叶的工业革命孕育了控制理论的诞生。1765年,瓦特(J. Watt)发明了蒸汽机,并进一步应用离心式飞锤调速原理控制蒸汽机的速度,继而学者们用自动控制理论来讨论调速系统的稳定性问题。1868年,麦克斯韦(J. C. Maxwell)发表了论文“论调节器”(On Governor),用微分方程描述了控制系统的性能,并用特征方程的根来研究系统的稳定性。现在一般公认这篇文章是自动控制理论的第一篇学术论文。

1872年和1890年,劳斯(E. J. Routh)和赫尔维茨(A. Hurwitz)先后找到了系统稳定性的代数判据,即系统特征方程根具有负实部的充分必要条件。1892年,俄国科学家(A. M. Lyapunov)李雅普诺夫提出了用适当的能量函数——李雅普诺夫函数的正定性及其导数的负定性来鉴别系统的稳定性准则,从而总结和发展了系统的经典时域分析法。1932年,美国贝尔实验室工程师奈奎斯特(H. Nyquist)发表了反馈放大器稳定性的著名论文,给出了系统稳定性的奈奎斯特判据。后来,前苏联学者米哈依洛夫(A. B. Mikhailov)又把奈奎斯特判据推广到条件稳定和开环不稳定系统的一般情况,发展了以实验为基础的频率响应分析法。1948年,美国著名的控制论创始人维纳(N. Wiener)系统地总结了前人的成果,发表了经典著作《控制论——或关于在动物和机器中控制和通信的科学》,书中论述了控制理论的一般方法,推广了反馈的概念,为控制理论这门学科的产生奠定了基础。

图 1-1 为控制科学的发展过程。

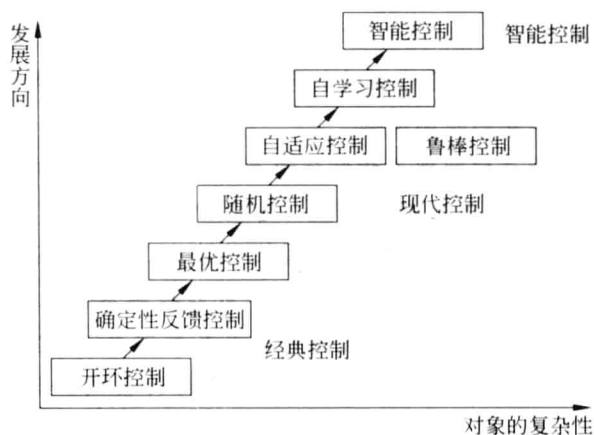


图 1-1 控制科学的发展过程

控制科学的发展过程一般可分为三个阶段：

第一阶段从 20 世纪 40—60 年代,称为“古典控制理论”时期。古典控制理论主要是解决单输入单输出问题,主要采用以传递函数、频率特性、根轨迹为基础的频域分析方法。所研究的系统多是线性定常系统,对非线性系统分析时采用的相平面法一般也不超过两个变量。古典控制理论能够较好地解决生产过程中的单输入单输出问题。这一时期的主要代表人物有伯德(H. W. Bode)和埃文斯(W. R. Evans)。伯德于 1945 年提出了简便实用的伯德图法。埃文斯于 1948 年提出了直观而又形象的根轨迹法。

第二阶段为 20 世纪 60—70 年代,称为“现代控制理论”时期。这个时期,计算机的飞速发展,推动了空间技术的进步。古典控制理论中的高阶常微分方程可转化为一阶微分方程组,用以描述系统的动态过程,即所谓状态空间法。这种方法可以解决多输入多输出问题,系统既可以是线性定常的,也可以是非线性时变的。这一时期的主要代表人物有庞特里亚金(L. S. Pontryagin)、贝尔曼(R. E. Bellman)及卡尔曼(R. E. Kalman)等人。1957 年,贝尔曼提出了动态规则;1959 年,卡尔曼和布西(R. S. Bucy)发表了关于线

性滤波器和估计器的论文,即所谓著名的卡尔曼滤波;1961年,庞特里亚金发表了极大值原理。20世纪70年代初,瑞典的奥斯特隆姆(K. J. Astrom)和法国的朗道(I. D. Landau)教授在自适应控制理论和应用方面作出了杰出贡献。

第三阶段为20世纪70年代末至今。20世纪70年代末,控制理论向着“大系统理论”和“智能控制”方向发展,前者是控制理论在广度上的开拓,后者是控制理论在深度上的挖掘。“大系统理论”是用控制和信息的观点,研究各种大系统的结构方案、总体设计中的分解方法和协调等技术基础理论。而“智能控制”是研究与模拟人类智能活动及控制与信息传递过程的规律,研制具有某些仿人智能的工程控制与信息处理系统。

### 1.1.2 智能控制的起源和发展

智能控制起源于20世纪70年代,是随着非线性、时变复杂被控对象的挑战和计算机、人工智能的发展而产生的。智能控制的发展可以分为四个阶段。

#### 1. 启蒙期

从20世纪60年代起,自动控制理论和技术的发展已渐趋成熟,控制界学者为了提高控制系统的自学习能力,开始注意将人工智能技术与方法应用于控制系统。20世纪60年代初期,史密斯(R. M. Smith)提出用性能模式识别器来学习最优控制方法的新思想,试图利用模式识别技术来解决复杂系统的控制问题。1965年,美国著名控制论专家扎德(L. A. Zadeh)创立了模糊集合论,为解决复杂系统的控制问题提供了强有力的数学工具。1966年,门德尔(J. M. Mendel)首先主张将人工智能用于空间飞行器的学习控制系统的设计,并提出了“人工智能控制”的概念。1967年,利昂德斯(C. T. Leondes)和门德尔首先使用“智能控制”一词。1971年,著名华裔美国科学家傅京孙(King-Sun Fu)从学习控制的角度正式提出了创建“智能控制”这个新兴的学科。这些学术研究活动标志着智能控制的思想已经萌芽。

#### 2. 形成期

20世纪70年代可以看做是智能控制的形成期,从70年代初开始,傅京孙等人从控制论角度进一步总结了人工智能技术与自适应、自组织、自学习控制的关系,正式提出了智能控制就是人工智能技术与控制理论的交叉这一思想,并创立了人机交互式分级递阶智能控制的系统结构。在核反应堆、城市交通等控制中成功地应用了智能控制系统。这些研究成果为分级递阶智能控制的形成奠定了基础。1974年,英国工程师曼德尼(E. H. Mamdani)将模糊集合和模糊语言用于锅炉和蒸汽机的控制,创立了基于模糊语言描述控制规则的模糊控制器,取得良好的控制效果。1979年,他又成功地研制出自组织模糊控制器,使得模糊控制器具有了较高的智能。模糊控制的形成和发展,以及与人工智能中的产生式系统、专家系统思想的相互渗透,对智能控制理论的形成起了十分重要的推动作用。

### 3. 发展期

进入 20 世纪 80 年代以后,由于计算机技术的迅速发展及人工智能的重要领域——专家系统技术的逐渐成熟,使智能控制和智能决策的研究及应用领域逐步扩大,并取得了一批应用成果。例如,1982 年,福克斯(M. Fox)等人实现了基于专家系统的加工车间自动调度;1983 年,萨里迪斯(G. N. Saridis)把智能控制应用于机器人系统;1984 年,LISP 公司研制成功用于分布式的实时过程控制专家系统;1986 年,莱特尔默(M. Lattlmer)等人开发的混合专家系统控制器是一个实验型的基于知识的实时控制专家系统,用来处理军事和现代化工业中出现的控制问题。1987 年 4 月,美国 Foxboro 公司公布了新一代的 IA 系列智能自动控制系统。这种系统体现了传感器技术、自动控制技术、计算机技术和过程知识在生产自动化综合应用方面的先进水平,标志着智能控制系统已由研制、开发阶段转向应用阶段。特别应该指出,20 世纪 80 年代中后期,神经网络的研究获得了重要进展,神经网络理论和应用研究为智能控制的研究起到了重要的促进作用。

### 4. 高潮期

进入 20 世纪 90 年代以来,智能控制的研究势头异常迅猛,每年都有各种以智能控制为专题的大型国际学术会议在世界各地召开,各种智能控制杂志或专刊不断涌现,来自各国政府和企业的专项科研经费不断增加。1994 年 6 月,国际电气电子工程师协会(IEEE)在美国奥兰多召开全球计算智能大会,将研究智能控制的重要基础——模糊系统、神经网络、进化计算三个新学科的内容综合在一起,引起了国际学术界的广泛关注。智能控制研究与应用涉及了广泛众多的领域,从高技术的航天飞机推力矢量的分级智能控制、空间资源处理设备的高自主控制,到智能故障诊断及重新组合控制,从轧钢机、汽车喷油系统的神经控制到家电产品的神经模糊控制都与智能控制联系在一起。如果说智能控制在 20 世纪 80 年代的研究和应用主要是面向工业过程控制,那么 20 世纪 90 年代起,智能控制的应用已经扩大到面向军事、高技术和日用家电产品等多个领域。

#### 1.1.3 智能控制的多元结构描述

智能控制是一门交叉学科,傅京孙教授 1971 年首先提出智能控制是人工智能与自动控制的交叉,即二元论,如图 1-2(a)所示。美国科学家萨里迪斯(G. N. Saridis)1977 年在此基础上引入运筹学,提出了智能控制的三元结构,如图 1-2(b)所示。随着计算机技术的发展和应用于智能控制技术的实现,我国智能控制理论专家、中南大学蔡自兴教授在三元结构的基础上增加了信息技术,提出了如图 1-2(c)所示的四元结构。

从智能控制的二元结构描述到三元结构、四元结构的描述,是一脉相承的从基础到发展丰富的关系。其中控制论和人工智能是智能控制的核心,而随着系统论和信息技术的发展,运筹学和信息技术已成为智能控制不可缺少的组成部分。

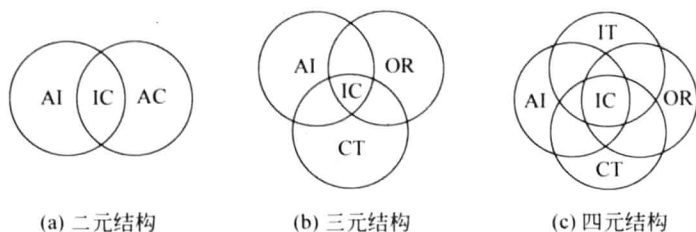


图 1-2 智能控制科学的多元结构描述

## 1.2 智能控制的概念和技术特点

### 1.2.1 智能控制的概念

智能控制是控制论与人工智能的结合,其概念也是随着智能控制技术的产生、发展而逐步形成,并随着智能控制的发展而不断发展。智能控制的概念是自动控制的概念和人工智能的结合,是自动控制的一种高级控制技术。

自动控制的概念:控制系统可以连续自动地测量被控对象的被控制量,并求出与期望值的偏差,进而根据偏差的大小和正负极性进行控制,使偏差尽可能减小或消除。

人工智能系统的概念:系统采集输入环境信息,根据已有的知识和输入信息进行“推理思考”,输出得到完成目的的最佳方案。

结合对二者的理解和对现有智能控制系统的认识,可以归纳得出智能控制的概念:

可以连续自动地测量被控对象的被控制量,并求出与期望值的偏差,同时采集输入环境信息,进而根据采集的输入信息和已有的知识进行“推理思考”,得到对被控对象的输出控制量,使偏差尽可能减小或消除。

智能控制的目标仍然是自动控制,但其实现控制的核心是“知识”和“推理思考”。其中重要的是模仿人的智能,包括利用人类现有的控制知识和推理方法,当然也结合了机器学习来产生知识、结合计算推理来得出结论。所以智能控制的智能是人类智能和机器计算智能的结合。

### 1.2.2 智能控制技术的特点

传统控制方法研究的主要目标是被控对象,而智能控制研究的主要目标是控制器本身。其研究重点不在控制对象的数学模型分析,而在于智能控制器模型的建立,包括知识的获取、表示和存储,智能推理方式的设计等。其控制对象和控制性能也与传统控制有很大不同。

#### 1. 智能控制技术的基本特点

(1) 无须建立被控对象的数学模型,特别适合非线性对象、时变对象、复杂不确定的控制对象。这些对象正好是传统控制方法难以取得好的自动控制效果的对象。



(2) 具有分层递阶的控制组织结构。由于智能控制系统输入信息多,所以模仿了人类智能结构特点,有分层信息处理和决策机构,层次间还有协调。组织结构体现了“智能递增,精度递减”的原理,便于处理大量的信息和存储的知识,并进行推理。

(3) 控制效果具有自适应能力、鲁棒性好:智能控制系统不依赖于对象模型,所以根据输入输出变化可以自适应调整控制策略。同时,由于智能的非定量粗略描述性,智能控制系统更能容忍噪声干扰。

(4) 具有学习能力,控制能力可以不断增强:智能控制需要借助已有知识,而知识是可以不断学习丰富的。所以智能控制系统具有不断学习、改进控制性能的能力。

当然,智能控制技术的发展还远未完善,和传统的控制技术相比,控制系统的设计还没有形成系统的方法和严谨的定量分析。所以对结构模型清晰的控制对象,智能控制并不能替代传统的控制技术,而是对传统控制技术的补充和发展,在很多复杂的环境下,二者的结合也可以取得很好的控制效果。

## 2. 智能控制的应用对象

智能控制是控制理论发展的高级阶段。从它的技术特点可以看到,智能控制技术可以解决那些用传统方法难以解决的复杂系统的控制问题,如智能机器人系统、计算机集成制造系统(CIMS)、复杂的工业过程控制系统、航天航空控制系统、社会经济管理系统、交通运输系统、环保及能源系统等,都取得了很好的控制效果。

智能控制的应用对象有下列特点。

(1) 模型的不确定性:传统的控制是基于模型的控制,这里的模型包括控制对象和干扰模型。对于传统控制,通常认为模型已知或者经过辨识可以得到,而智能控制的对象通常存在严重的不确定性。这里所说的模型不确定性包含两层意思:一是模型未知或知之甚少;二是模型的结构和参数可能在很大范围内变化。无论哪种情况,传统方法都难以有效控制,而这正是智能控制可以很好解决的问题。

(2) 高度的非线性:传统控制理论中的线性系统控制理论比较成熟。对于具有高度非线性的控制对象,虽然也有一些非线性控制方法,但总的说来,非线性控制理论还很不成熟,而且方法比较复杂。采用智能控制的方法往往可以较好地解决非线性系统的控制问题。

(3) 复杂的任务要求:在传统的控制系统中,控制的任务或者是要求输出量为定值,或者是要求输出量跟随期望的运动轨迹,因此控制任务的要求比较单一。对于智能控制系统,任务的要求往往比较复杂。例如,要求系统对一个复杂的任务具有自行规划和决策的能力;要求除了实现对各被控物理量定值调节外,还要求实现整个系统的自动起停、故障的自动诊断,以及紧急情况的自动处理等功能。

### 1.2.3 智能控制系统的基本结构

智能控制系统的基本结构如图 1-3 所示。

其中,广义对象包括通常意义上的控制对象和外部环境。如智能机器人系统中,机器人的手臂、被操作物体及所处环境统称广义对象。“知识库”和“推理机制”是整个系统