



华夏英才基金学术文库

涂序彦 王 枫 刘建毅 著

智能控制论



科学出版社

www.sciencep.com



华夏英才基金学术文库

智能控制论

涂序彦 王 枏 刘建毅 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

智能控制论(intelligent cybernetics)研究生物与机器的智能控制过程的共同规律,是基于广义智能、面向广义控制的广义智能控制理论,是控制论向智能水平高度发展的新分支。

本书是关于智能控制论学科的专著,以“智能特性”为纲编排全书内容,如自寻优、自学习、自识别、自适应、自稳定、自组织、自协调等,重点研究拟人的智能控制系统。

本书可作为控制学科、智能学科等领域的高年级本科生和研究生的教学参考书,也可供相关领域的研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能控制论/涂序彦,王枫,刘建毅著. —北京:科学出版社,2010

(华夏英才基金学术文库)

ISBN 978-7-03-029277-3

I. ①智… II. ①涂… ②王… ③刘… III. ①智能控制-研究 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 203139 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 10 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2010 年 10 月第一次印刷 印张: 13 1/2

印数: 1—3 000 字数: 256 000

定价: 40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

1977年,我在中国科学院自动化研究所工作,曾在《自动化》刊物上发表论文“智能控制及其应用”。三十多年来,国内外学者在智能控制理论及应用方面做了大量研究开发工作,出版、发表了许多专著和论文。

控制论(cybernetics)研究生物与机器的控制过程的共同规律,智能控制论(intelligent cybernetics)研究生物与机器的智能控制过程的共同规律,是介于生物科学技术与工程科学技术之间的边缘学科,是基于广义智能、面向广义控制的广义智能控制理论。

1991年,我在中国人工智能学会第2届全国计算机视觉与智能控制学术大会报告中,曾提出智能控制论学科的初步架构。根据广义人工智能、智能科学技术的新进展,本书将给出智能控制论学科的新架构。

“人为万物之灵”,人是地球上已知生物中最聪明、最灵巧、最高等的生物,人体控制系统、人群控制系统是智能水平最高的生物控制系统。因此,智能控制论重点研究、模拟人的智能控制系统,开发、设计拟人的工程智能控制系统。

2002~2006年,我兼任北京邮电大学信息工程学院教授、博士生导师,曾与王枏教授等合作,指导博士生,开设“智能控制论”、“大系统控制论”研究生课程。在多年相关科研、教学工作基础上,修订了专著《大系统控制论》,出版了精品教材。

本书是《大系统控制论》的姐妹篇,智能控制论是控制论向智能水平高度发展的新分支,大系统控制论是控制论向系统规模广度发展的新分支。

因此,本书以“智能特性”为纲,如自寻优、自学习、自识别、自适应、自稳定、自组织、自协调等,编排全书内容。

在本书写作和出版过程中,得到中国人工智能学会的支持和帮助,并获得华夏英才基金的资助,在此表示感谢。

涂序彦

2010年5月6日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 智能控制	1
1.1.1 智能控制发展概况	1
1.1.2 智能控制历史背景	1
1.1.3 国外智能控制研究进展	3
1.1.4 国内智能控制研究进展	3
1.2 智能控制系统	5
1.2.1 智能控制系统的概念	5
1.2.2 智能控制系统的评判	5
1.3 智能控制理论	7
1.3.1 控制理论的发展	7
1.3.2 智能控制理论的概念	8
1.4 智能控制论	9
1.4.1 控制论的发展	9
1.4.2 人工智能的发展	10
1.4.3 智能控制论的概念	11
1.5 小结	12
思考题	12
第 2 章 智能控制论的学科架构	13
2.1 智能控制论的研究对象	13
2.1.1 广义智能控制系统	13
2.1.2 智能广义控制系统	16
2.2 智能控制论的学科内容	18
2.2.1 广义智能控制系统协同建模	19
2.2.2 广义智能控制系统协同分析	20
2.2.3 广义智能控制系统协同设计	22
2.3 智能控制论的科学方法	24
2.4 智能控制论的学科架构	27
2.5 小结	29
思考题	29

第3章 自寻优智能控制	30
3.1 人的自寻优性能	30
3.2 自寻优控制的概念	31
3.3 自寻优控制器的结构	32
3.4 自寻优控制的方法	33
3.4.1 极值搜索自寻优控制方法	34
3.4.2 区间优选自寻优控制方法	36
3.5 多级自寻优控制系统	36
3.5.1 多级自寻优控制系统的结构	36
3.5.2 多级自寻优控制系统的方法	37
3.6 自寻优控制系统的应用	41
3.6.1 锅炉燃烧过程的自寻优控制系统	41
3.6.2 热风炉燃烧过程的自寻优控制系统	42
3.7 小结	47
思考题	47
第4章 自学习智能控制	48
4.1 自学习控制模型	48
4.1.1 自学习控制的概念	48
4.1.2 自学习控制系统的结构	52
4.1.3 自学习控制器的设计原理	53
4.2 广义机器学习	53
4.2.1 机器学习的概念与方法	53
4.2.2 基于知识的机器学习	56
4.2.3 基于神经网络的机器学习	59
4.2.4 基于模式识别的机器学习	68
4.3 自学习控制系统	71
4.3.1 基于知识推理的自学习控制系统	71
4.3.2 基于神经网络的自学习控制系统	72
4.3.3 基于模式识别的自学习控制系统	72
4.4 产生式自学习控制系统	74
4.4.1 产生式自学习控制系统的结构	74
4.4.2 产生式自学习控制系统的原理	75
4.4.3 产生式自学习控制系统的实验	76
4.5 小结	76
思考题	77

第 5 章 自识别智能控制	78
5.1 人的自识别智能控制	78
5.1.1 人的自识别性能和机制	78
5.1.2 人的运动控制性能和机制	79
5.2 工程自识别智能控制	79
5.2.1 工程自识别智能控制的概念	80
5.2.2 工程自识别控制系统的概念	80
5.2.3 工程自识别智能控制系统的类型	80
5.3 自识别控制系统的方法	81
5.3.1 视觉图像的自识别方法	81
5.3.2 物景分析的自识别方法	82
5.3.3 自然语音的自识别方法	84
5.4 自识别控制系统的结构	85
5.4.1 机器视觉系统	85
5.4.2 机器听觉系统	86
5.4.3 自然语言人-机对话系统	87
5.5 自识别智能控制系统的应用	88
5.5.1 球磨机磨音自识别控制系统	88
5.5.2 窑炉炉膛火焰自识别控制系统	91
5.5.3 汽车驾驶路况自识别控制系统	92
5.6 小结	94
思考题	94
第 6 章 自适应智能控制	95
6.1 自适应控制的概念	95
6.2 自适应模型	96
6.2.1 自适应模型的概念	96
6.2.2 自适应模型的结构方案	96
6.2.3 自适应模型的设计方法	97
6.2.4 自适应模型的类别	98
6.3 自适应控制系统设计原理	99
6.3.1 自校正控制系统	99
6.3.2 模型参考自适应控制系统	99
6.4 自适应控制系统的类型	100
6.5 自适应控制的方法和技术	101
6.5.1 基于神经网络的自适应控制方法	101

6.5.2 基于神经网络的自适应建模方法	102
6.5.3 基于专家系统的自适应建模方法	104
6.6 自适应控制系统的应用	105
6.7 小结	105
思考题	106
第7章 自稳定智能控制	107
7.1 稳定性的概念	107
7.2 人体自稳定控制的启示	109
7.2.1 人体生理状态自稳定控制系统	109
7.2.2 人体运动姿态自稳定控制系统	109
7.2.3 人群组织的自稳定控制系统	110
7.3 自稳定控制的概念和类型	111
7.3.1 自稳定性的概念	111
7.3.2 自稳定控制系统的类型	111
7.4 自稳定控制的方法和技术	112
7.4.1 主动自稳定控制	112
7.4.2 被动自稳定控制	112
7.5 拟人运动姿态自稳定智能控制系统	113
7.6 倒立摆自稳定控制系统	114
7.6.1 倒立摆自稳定控制概念	114
7.6.2 倒立摆自稳定控制方法	115
7.6.3 倒立摆仿人智能控制系统	115
7.7 小结	117
思考题	118
第8章 自组织智能控制	119
8.1 人体组织的自组织性能	119
8.2 人群组织的自组织性能	120
8.3 工程自组织控制系统	121
8.4 大系统自组织控制	123
8.4.1 大系统的基本控制结构	123
8.4.2 大系统控制结构自组织	128
8.5 拟人自组织控制系统	132
8.5.1 拟人体自组织控制系统	132
8.5.2 拟人群自组织控制系统	133
8.6 自组织智能控制的应用	134

8.7 小结	135
思考题	136
第9章 自协调智能控制	137
9.1 协调学	137
9.1.1 协调学的学科创立	137
9.1.2 协调学的学科构架	137
9.2 人体的多级协调控制系统	140
9.2.1 人体神经多级协调控制系统	140
9.2.2 人体体液多级协调控制系统	142
9.2.3 人体“神经+体液”双重协调控制体制	143
9.2.4 人体经络多级协调控制系统	143
9.3 多变量协调控制系统	145
9.3.1 多变量协调控制理论的提出	145
9.3.2 多变量协调控制理论概要	147
9.3.3 多变量协调控制理论的应用	160
9.4 大系统协调控制	167
9.4.1 大系统的可协调性	168
9.4.2 大系统的结构可协调性	173
9.4.3 大系统的递阶协调控制	175
9.4.4 大系统的分散协调控制	178
9.5 智能协调控制	180
9.5.1 智能协调控制的概念	181
9.5.2 基于知识的多级智能协调控制	181
9.5.3 基于神经的多段智能协调控制	182
9.6 社会协调控制	183
9.6.1 社会协调学	183
9.6.2 社会协调控制系统	185
9.6.3 不同社会经济体制的协调控制	186
9.7 小结	189
思考题	189
第10章 展望	190
10.1 《智能控制论》重点回顾	190
10.2 智能控制论学科展望	191
思考题	192
致谢	193
参考文献	194

第 1 章 绪 论

什么是、为什么需要以及如何研究开发智能控制(intelligent control)、智能控制系统(intelligent control system)、智能控制理论(intelligent control theory)、智能控制论(intelligent cybernetics)? 智能控制论与智能控制理论的关系如何? 这是本书首先要讨论的问题。

本章论述智能控制、智能控制系统、智能控制理论与智能控制论的基本概念、历史背景、发展概况、研究方法、开发策略及相互关系。

1.1 智能控制

1.1.1 智能控制发展概况

什么是智能控制? 简单地说,就是“聪明的控制”、“灵巧的控制”。人为万物之灵,有许多聪明的控制性能和行为,如自适应控制、自寻优控制、自学习控制等。

智能控制是人工智能(artificial intelligence)和自动控制(automation control)相结合的新技术,也是智能科学技术与控制科学技术领域,国际和国内学术界、工程界、企业界共同关注的热门课题。

在智能科学技术领域中,智能控制是人工智能应用研究的重要对象。如专家系统、人工神经网络、模式识别等在控制方面的应用研究,发展了专家控制、神经控制、模式控制等智能控制新技术。

在控制科学技术领域中,智能控制是控制技术向智能化发展的成果。它为传统的控制技术带来了新的生机,为解决控制系统建模、分析、设计和实现的难题,突破传统数学模型的局限,缓解控制理论的困境,提供了新的途径。

因此,智能控制不仅受到学术界的重视,国内外举行了多次以智能控制为主题的学术会议。而且,也引起了国家科技发展计划、自然科学基金,以及控制工程、技术市场的重视。

1.1.2 智能控制历史背景

如果追溯智能控制的历史渊源,可联想到我国古代关于“指南车”、“机关人”、“木牛流马”等拟人或仿生控制装置的发明创造。例如,指南车上的“机关人”能在行车过程中自动保持手指南方,进行导航,实现自定向控制。又如,模拟钟馗捉鬼

的捕鼠机关人,一只手抓鼠,另一只手执鞭,准确地击毙老鼠。可以认为这些都是中国古典拟人智能控制的范例。

然而,智能控制作为一门近代科学技术,其产生与发展和自动控制、控制论(cybernetics)、人工智能、仿生学(bionics)等学科有密切的关系。

20 世纪 40~60 年代前后,在机械化、电气化科学技术的基础上,产生与发展了自动控制、自动调节、自动监测等自动化科学技术。如蒸汽机的转速自动调节装置、水位自动调节器,以及流量、压力、温度、电压、电流、频率等各种单变量调节与控制技术和单机自动化系统。研究开发了基于反馈原理的 PID 闭环自动控制、基于扰动补偿与程序控制的开环控制,以及闭环与开环相结合的复合控制技术。

1948 年,Wiener 的名著 *Cybernetics*(《控制论》)问世,在自动控制、通信技术、计算机技术与神经生理学、病理学相结合的基础上,研究生物与机器中的控制、通信的共同规律与方法,如反馈、适应、控制、滤波等,跨越了工程技术与生物科学之间的鸿沟,促进了不同学科之间的交流与边缘科学的发展。

1951 年,美籍华人学者李耀滋提出了自寻优控制方法。1956 年,我国学者钱学森在美国出版了 *Engineering Cybernetics*(《工程控制论》),被译为中文、日文、法文等多种版本,对苏联、欧洲和我国关于控制论的研究产生了广泛的影响。

1943 年,McCulloch 和 Pitts 提出了第一个人工神经细胞的 M-P 模型。1945 年,理想计算机模型“图灵机”创始人 Turing 发表了关于机器思维的论文,提出了关于机器智能的图灵测试方法,为研究机器智能提供了基础理论和方法。1946 年,冯·诺依曼原理的第一台电子计算机研制成功,为用机器模拟人的智能提供了技术工具和物质手段。

1956 年,在美国举行的关于智能模拟的科学研讨会上,McCarthy 提出人工智能术语,标志着人工智能新学科的诞生,Newell、Simon、Shaw 研制了启发程序“逻辑理论机”(logic theory machine),证明了《数学原理》中 38 条定理,成为第一个计算机思维的范例。20 世纪 60 年代专家系统(expert system)的研究开发,为人工智能从理论走向应用、从学院走向市场开辟了新的途径。

1960 年,关于仿生学的第一次科学研讨会在美国举行,正式命名仿生学,模仿生物的性能、行为或形态、结构,研究制造类似的工程技术装置或材料。如模仿肌肉伸缩的控制装置,模仿动物脑的人工神经网络,模仿蛙眼、鸽眼的电子眼,模仿水母的超声电子耳,模仿响尾蛇的热红外线敏感器等。

自动控制、控制论、人工智能、仿生学的进展为智能控制的产生与发展提供了科学技术基础。同时,为了适应复杂、多变、不确定、不确定的控制对象与环境条件,解决传统的常规控制难以胜任的控制问题,缓解控制理论研究严重脱离工程实际的危机,需要寻求新思路、新方法、新途径,促进了 70 年代智能控制的研究与发展。

1.1.3 国外智能控制研究进展

1951年,美籍华人学者李耀滋在麻省理工学院(MIT)研究发动机控制,提出自寻优控制原理。

1956年,著名学者钱学森在美国出版 *Engineering Cybernetics*,总结了自寻优控制理论和方法。

1971年,美籍华人学者傅京孙提出关于智能控制(简称 IC)的二元论概念:人工智能与自动控制相结合,可用式(1.1)表示:

$$AI + AC \rightarrow IC_2 \quad (1.1)$$

式中, AI——人工智能;

AC——自动控制;

IC₂——智能控制。

1980年,美国学者 Saridis 研究自组织控制及递阶智能控制,提出了关于智能控制的三元论概念,可用式(1.2)表示:

$$AI + AC + OR \rightarrow IC_3 \quad (1.2)$$

式中, OR——运筹学(operation research);

IC₃——智能控制。

1985年,IEEE 在美国召开了第一次智能控制学术研讨会。从 1987年起,举行了智能控制的系列化国际学术会议。

另外,20世纪50年代前后,苏联科学院自动学与远动学研究所、乌克兰科学院、英国、法国、德国、瑞典、奥地利、意大利和其他欧洲国家,以及日本、韩国、澳大利亚等亚太地区国家的学者们在自动控制、自学习控制、自适应控制等智能控制方面,也开展了大量工作。

1974年,Mamdan 提出了自组织模糊控制(fuzzy control),促进了模糊智能控制的发展。

1984年,Astrom 提出了专家控制(expert control)。1989年,出版了 *Adaptive Control* (《自适应控制》),研究了自校正(self-tuning)智能控制及其应用。

1.1.4 国内智能控制研究进展

我国学者从20世纪50年代开展了关于自动控制、控制论、工程控制论、生物控制论等方面的研究工作。

1956年,中国科学院成立自动化研究所,在国内率先开展了自动化科学技术的研究,主办了全国自动化研究班。1957年,中国自动化学会成立,推动了我国自动控制理论方法与应用技术的发展。1958年,中国科学院自动化研究所与中国科学院生物物理研究所合作,开展了生物控制论方面的研究。1960年,在第一届国

际自动控制联合会(IFAC)世界大会,提出了具有自整定内部给定量的多变量协调控制理论。

1977年,涂序彦等在《自动化》上发表了国内第一篇关于智能控制的论文,研究了人工智能、智能控制、智能机器人等问题;1979年,与中国科学院心理研究所李家治合作,在《自动化学报》上发表了关于人工智能的综述报告;1980年,出版了专著《生物控制论》,研究生理调节系统、神经系统控制论、人体经络控制系统。

1979年,周其鉴、李祖枢等提出了仿人智能控制的概念,其后,开展了相关的理论及应用研究工作;2004年,出版了专著《仿人智能控制》。

1980年,中国人工智能学会在北京筹建。1981年,举行了中国人工智能学会成立大会。1986年,中国人工智能学会在北京举行了以智能控制与智能管理为主题的第五届全国学术会议,成立了智能控制与智能管理专业委员会,推动了我国人工智能、智能控制科学技术的发展。

1981年,吴宏鑫提出了全系数自适应控制方法;1990年,出版了专著《全系数自适应控制理论及应用》;2002年,提出了基于智能特征模型的智能控制。

1985年,涂序彦在IFAC/IFORS/IFIP联合主办的人工智能及应用的国际会议上,发表了大系统智能控制与智能管理的报告,提出了多级专家系统、多级自寻优控制、多级模糊控制;1988年,出版了专著《人工智能及其应用》,研究了拟人智能控制,多级、多层、多段智能控制与智能管理系统。

1989年,张钟俊、蔡自兴提出了关于智能控制的四元论概念,可用式(1.3)表示:

$$AI + AC + OR + SS \rightarrow IC_4 \quad (1.3)$$

式中,SS——系统科学(systems science)。

IC₄——智能控制。

1991年,涂序彦在中国人工智能学会第二届全国计算机视觉与智能控制学术会议上,提出了智能控制论学科的初步架构;在清华大学自动控制理论学术会议上,作了“控制理论向何处去?”的报告;1994年,在全国智能控制专家研讨会上,作了“智能控制的理论、方法和技术”的报告。

1993年,在国家科学技术委员会、科学技术协会、自然科学基金委支持下,由中国自动化学会、中国人工智能学会、IEEE联合主办,在北京举行了第一届全球华人智能控制与智能自动化大会。

我国学者在智能控制方面,做了大量研究开发及应用工作,发表了许多以智能控制为主题的论著,例如,吴鸿鑫等研究开发了全系数自适应控制系统、基于特征模型的智能自适应控制系统;李德毅、张明廉、李洪兴、李祖枢等研究了多级倒立摆的平衡与摆起的自稳定智能控制的理论与方法;蔡自兴、孙增圻等出版了关于智能控制理论及应用的专著及教材。

1.2 智能控制系统

1.2.1 智能控制系统的概念

由于自动化技术、计算机技术、数字通信技术、信息网络技术、人工智能技术的迅速发展,及其在工程技术领域、社会经济领域、生态环境领域等各方面的广泛应用,自动化、电脑化、数字化、信息化是智能化的基础;而智能化是自动化、电脑化、数字化、信息化的新动向、新阶段。因此,智能化已成为各行各业新系统、新产品、新设施的开发策略与显著标志。国内外涌现了大量智能化技术、系统、产品,例如:智能控制系统、智能调节系统、智能操作系统、智能管理系统、智能指挥系统、智能调度系统、智能通信系统、智能检测系统、智能监护系统,智能控制器、智能计算机、智能机器人、智能仪表、智能网络、智能动画、智能游戏、智能空调、智能冰箱、智能相机、智能汽车、智能武器、智能建筑、智能大厦、智能小区等。这是智能科学技术兴旺发达的新形势。但是,也对智能科学技术提出了新的问题:如何鉴别各种智能系统、智能产品、智能设施的智能特性?如何衡量各种智能系统、智能产品、智能设施的智能水平?如何制定各种智能系统、智能产品、智能设施的智能标准?

为了解决上述问题,需要研究关于智能化系统、产品、设施的既有科学性又有概括性的概念定义和鉴别条件。下面,我们以智能控制系统为例进行研究和讨论。

所谓智能控制系统是在人工智能和自动控制系统相结合的基础上研究开发的控制系统,如式(1.4)所示:

$$AI + ACS \rightarrow ICS \quad (1.4)$$

式中, AI —— 人工智能;

ACS —— 自动控制系统;

ICS —— 智能控制系统。

1.2.2 智能控制系统的评判

本节从智能特性和智能方法两方面,给出智能控制系统的评判条件。

1. 智能特性

智能控制系统的特性、功能、行为具有拟人、仿生的智能性,如:自推理、自联想、自学习、自寻优、自协调、自规划、自决策、自感知、自识别、自辨识、自诊断、自预测、自聚焦、自融合、自适应、自组织、自整定、自校正、自稳定、自修复、自繁衍、自进化等,如式(1.5)所示:

$$I_f = \{f_1, \dots, f_i, \dots, f_p\} \quad (1.5)$$

式中, I_f ——智能特性集(intelligent feature set);

f_i ——智能特性, $i = 1, 2, \dots, p$, 例如: f_1 ——自推理, f_2 ——自联想。

2. 智能方法

智能控制系统的建模、分析、设计和实现采用人工智能的理论、方法和技术,如启发程序、专家系统、知识工程体例、人工神经细胞、人工神经网络、人工脑模型、数理逻辑、谓词逻辑、模糊逻辑,文字、图像、声音、景物识别等,如式(1.6)所示:

$$I_m = \{m_1, \dots, m_j, \dots, m_q\} \quad (1.6)$$

式中, I_m ——智能方法集(intelligent methods set);

m_j ——智能方法, $j = 1, 2, \dots, q$, 例如: m_1 ——启发程序, m_2 ——专家系统。

根据上述智能特性与智能方法条件,可以给出智能控制系统的概念定义:具有拟人、仿生的智能控制特性,并(或)采用人工智能的理论、方法和技术的控制系统。

若取“并”:有 $SI = I_f \cap I_m$, 则可得强智能控制系统的“强”定义:具有拟人、仿生智能特性,并采用人工智能的理论、方法和技术的控制系统,可称为强智能控制系统(strong intelligent control system, SICS)。

“强”定义只限于:既具有拟人、仿生智能特性,又采用人工智能的理论、方法和技术的控制系统。例如,具有自学习特性的神经网络控制系统、具有自适应特性的专家控制系统等,而排除了虽具有拟人智能特性,但采用常规控制方法的系统,以及虽采用人工智能方法,但仅具有常规控制特性的系统。

若取“或”:有 $WI = I_f \cup I_m$, 则可得弱智能控制系统的“弱”定义:具有拟人、仿生智能特性,或采用人工智能的理论、方法和技术的控制系统,可称为弱智能控制系统(weak intelligent control system, WICS)。

“弱”定义可以概括各种类型的智能控制系统,包括:①具有拟人、仿生的智能特性,但未采用人工智能方法的控制系统。如基于数学模型的自校正控制系统;②采用人工智能方法设计与实现,但不具备拟人、仿生智能特性的控制系统,如采用模糊逻辑方法的常规控制系统;③有人或无人参与的智能控制系统。

因此, SICS 是 WICS 的子集,如式(1.7)所示:

$$SICS \in WICS \quad (1.7)$$

式中, SICS——强智能控制系统;

WICS——弱智能控制系统。

1.3 智能控制理论

1.3.1 控制理论的发展

控制理论的发展历程可分为三代,如图 1.1 所示。

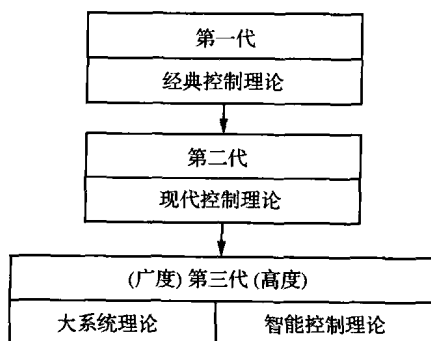


图 1.1 控制理论的三代发展

1. 第一代控制理论

20 世纪 50 年代发展形成的第一代控制理论,即所谓经典控制理论(classical control theory),采用传递函数(transfer function)数学模型,基于频域的控制系統分析与设计方法,是单输入/输出(SISO)自动控制系统的理论和方法。

2. 第二代控制理论

20 世纪 60 年代发展形成的第二代控制理论,即所谓现代控制理论(modern control theory),采用状态方程(state equation)数学模型,基于时域的控制系統分析与设计方法,是多输入/输出(MIMO)自动控制系统的理论和方法。

3. 第三代控制理论

20 世纪 70 年代发展起来的第三代控制理论,包括智能控制理论与大系统理论(lager scale system theory)。大系统理论是控制理论向系统规模广度的发展,是控制与管理综合自动化系统的理论和方法;智能控制理论是控制理论向智能水平高度的发展,是智能控制系统的理论和方法。智能控制理论和大系统理论是第三代控制理论的姐妹学科。

虽然,第二代控制理论采用状态方程模型,比第一代控制理论采用传递函数模

型具有更强的描述能力,不限于描述线性系统,也可描述非线性系统。但是,却失去了物理概念的清晰性、代数运算的简便性,增加了数学运算的复杂性,难以被工程师们接受和应用。而且,由于只有线性常系数微分方程有准确的解析解法,即使状态方程可以描述非线性变系数系统,也只能对线性定常控制系统分析与综合给出准确的解析结果,难以应用于实际控制工程中的非线性、非定常系统。另一方面,为了解决实际控制工程中的不确定、不确知问题,智能控制系统往往是变参数、变结构的非线性、非定常系统,难以沿用第二代控制理论关于线性定常系统的分析综合方法。

早在 20 世纪 70 年代,控制理论与工程界就意识到:控制理论处于困境,面临危机。所谓现代控制理论与实际工程应用之间存在很大间隙,理论严重脱离实际。控制理论逐步蜕变成控制数学,日益趋向“数学化”、背离“工程化”,难以被广大工程师们接受。基于传统数学模型的线性控制理论,难以解决控制工程中存在的不确定性、不确知性、非线性等复杂问题,难以应用于实际的在线、实时、闭环控制系统。

控制理论向何处去?这是国内外控制理论界和控制工程界共同关心的问题。控制理论界需要回顾控制理论已度过的历程,认真总结成功的经验和失败的教训,思考和规划未来的道路。控制工程界作为控制理论的用户,期待着控制理论界提供适用的、满足当前和未来控制工程实际需求的控制系统分析与设计的理论和方法。

1.3.2 智能控制理论的概念

为了面向控制工程实际应用,解决不确定、不确知的复杂控制问题,突破控制理论的困境,需要在人工智能与控制理论相结合的基础上,研究开发智能控制理论,为智能控制系统提供建模、分析、设计的理论和方法。需要从智能科学技术领域,寻求智能控制系统建模、分析、综合的新理论、新方法、新技术,如专家系统、人工神经网络、模式识别等。

因此,智能控制理论是在人工智能与自动控制理论相结合的基础上,研究开发的关于智能控制系统的建模、分析、设计的理论、方法,如式(1.8)所示:

$$\text{AI} + \text{ACT} \rightarrow \text{ICT} \quad (1.8)$$

式中, AI —— 人工智能;

ACT —— 自动控制理论;

ICT —— 智能控制理论。

智能控制理论的研究开发,为突破控制理论困境、缓解控制理论危机,提供了新思路、新方法、新途径。