

高等学校电子信息类规划教材

01001011011100110110011

100100011010001101010010101

100100011010001101010010101



智能控制理论和方法

(第二版)

李人厚 主 编

王 拓 副主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

013027841

TP273
250-2

高等学校电子信息类规划教材

智能控制理论和方法

(第二版)

李人厚 主 编

王 拓 副主编



TP273
250-2



北航

C1637053

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书较全面地论述了智能控制的理论、方法和应用。全书共分9章。主要内容包
括：智能控制的发展过程和基本概念；从信息和熵的概念出发，论述三级递
阶智能控制的机理；模糊控制、神经网络、遗传算法、蚁群算法、人工免疫算法
以及粒子群算法的基本原理和它们在智能控制中的应用。

本书可作为高等院校工科电子信息类自动控制科学与工程专业研究生和高年
级本科生教材，也可供从事相关专业的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能控制理论和方法/李人厚主编. —2版. —西安：西安电子科技大学出版社，2013.2

高等学校电子信息类规划教材

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2966 - 7

I. ① 智… II. ① 李… III. ① 智能控制—高等学校—教材 IV. ① TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 024946 号

策 划 戚文艳

责任编辑 戚文艳 杨 璠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2013年2月第2版 2013年2月第6次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 19.5

字 数 455千字

印 数 14 001~17 000册

定 价 33.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 2966 - 7/TP

XDUP 3258002 - 6

*** 如有印装问题可调换 ***

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作，根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》，我们组织各有关高等学校、中等专业学校、出版社，各专业教学指导委员会，在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上，根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的要求，编制了《1996—2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报，经各学校、出版社推荐，由各专业教学指导委员会评选，并由我们与各专指委、出版社协商后审核确定的。本轮规划教材的编制，注意了将教学改革力度较大、有创新精神、有特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需、尚无正式教材的选题优先列于规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时，选择了一批对学科发展具有重要意义，反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划，以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验，这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足，希望使用教材的学校、教师、学生和其他广大读者积极提出批评和建议，以不断提高教材的编写、出版质量，共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子工业部教材办公室

前 言

《智能控制理论和方法》一书于1994年作为研究生系列教材之一，由西安交通大学出版社出版，后选列为原电子工业部1996—2000年全国高校电子信息类规划教材，于1999年10月由西安电子科技大学出版社出版。本书作为教科书已有17年的实际使用历史，读者反映良好。随着智能控制理论和技术的飞速发展，需要对教材内容进行更新、补充和修正。

这次再版，全书基本保持了原书的体系结构和编写理念，但内容上有很大的更新和充实，主要增补了国内外在智能控制方面的新进展以及作者近年来在智能控制方面的教学和科研成果。

全书共9章，其中第1、2、3章基本上保持了原来的结构和内容，只做了部分删减；第4、5、6章内容未作变更；删除了原来第7章的全部内容；增添了第7、8、9章，即增加了蚁群算法、人工免疫算法以及粒子群算法的基本原理和它们在智能控制中的应用，从而使全书的内容更加丰富。

本书新补充的第7、9章由王拓教授编写，第8章由田锋副教授编写。全书由李人厚教授统稿。

在本书修订过程中得到许多人的支持和帮助。其中选用了张璟、高峰、张平安、秦世引、张毅、郝翔、王矛、张朋柱、徐晓燕、罗印升等博士研究生和硕士研究生所提供的素材，唐家兴对第7、9章中的实例进行了仿真实验。谨向这些同志及其他为本书提供帮助的人们一并表示感谢。

修订之后的本书在概念描述上更注意由浅入深，同时增加了实例，以帮助读者加深对本书相关内容的理解。本书修订后增加了习题数量，为读者提供了更多的练习机会。

由于本书所涉及的方面较广，虽然经过认真修订，但由于编者水平有限，书中难免还存在各种不足，很多理论与实践问题有待于进一步探讨，敬希广大读者不吝批评指正！

编 者

2012年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 控制科学发展的历史回顾	1
1.2 智能控制的产生背景	2
1.3 智能控制的基本概念与研究内容	3
1.3.1 智能控制的基本概念	3
1.3.2 智能与智能控制的定义	4
1.3.3 智能控制的主要研究内容	6
参考文献	7
第 2 章 智能控制系统的结构体系	9
2.1 智能控制系统的基本结构	9
2.2 智能控制系统的分类	12
2.3 递阶智能控制系统的结构和理论	14
2.3.1 递阶智能控制系统的结构	14
2.3.2 信息熵与 IPDI 原理	15
2.3.3 组织级的分析理论	17
2.3.4 协调级的分析理论	18
2.3.5 执行级的最优控制	19
2.4 智能控制系统的信息结构理论	19
2.4.1 N 维信息理论	20
2.4.2 信息率划分定律	23
2.4.3 对递阶智能控制系统的信息流分析	25
习题与思考题	28
参考文献	28
第 3 章 基于模糊推理的智能控制系统	30
3.1 模糊控制系统的基本概念与发展历史	30
3.2 模糊集合与模糊推理	31
3.2.1 模糊集合	31
3.2.2 模糊集合的运算和 MF 的参数化	34
3.2.3 模糊关系与复合运算	43

3.2.4 模糊推理	45
3.3 模糊推理系统	50
3.4 模糊基函数	57
3.5 模糊建模	59
3.5.1 模糊模型	59
3.5.2 模糊模型的参数辨识	60
3.5.3 模糊模型的结构辨识	65
3.6 模糊逻辑控制器的结构与设计	69
3.6.1 模糊控制器的基本结构	69
3.6.2 模糊控制系统的设计问题	71
3.6.3 PID 控制器的模糊增益调整	76
3.7 模糊控制系统的稳定性分析	81
习题与思考题	85
参考文献	89
第 4 章 基于神经元的智能控制系统	92
4.1 神经网络与控制	92
4.2 神经网络的基本原理和结构	93
4.2.1 神经网络的基本单元	93
4.2.2 神经网络的模型	94
4.2.3 神经元的连接方式	97
4.3 监督学习神经网络	98
4.3.1 感知器和反传(BP)网络	98
4.3.2 小脑模型连接控制器(CMAC)网络	105
4.3.3 增强学习网络	110
4.3.4 组合网络(Modular Network)	113
4.4 无监督学习和反馈神经网络	116
4.4.1 竞争学习和 Kohonen 自组织网络	116
4.4.2 Hopfield 网络	120
4.4.3 双向联想存储器 BAM	124
4.4.4 Boltzman 机	127
4.5 基于神经元的智能控制	129
4.5.1 基于多神经元的复杂函数逼近	130
4.5.2 用神经网络对复杂系统建模	135
4.5.3 用神经网络进行的智能控制	140
4.6 神经网络控制非线性动态系统的能控性与稳定性	148

习题与思考题	152
参考文献	155
第 5 章 遗传算法及其在智能控制中的应用	157
5.1 遗传算法的基本概念	157
5.2 简单遗传算法	157
5.3 遗传算法的基本数学问题	161
5.4 遗传算法应用中的一些基本问题	163
5.4.1 知识表示(编码)	163
5.4.2 适应度函数	164
5.4.3 GA 的全局收敛性与最优性	165
5.4.4 遗传算法的早期收敛	166
5.5 高级遗传算法	166
5.5.1 改进的选择方法	166
5.5.2 高级 GA 运算	167
5.6 微种群和双种群遗传算法	170
5.6.1 微种群算法	170
5.6.2 双种群遗传算法	171
5.7 遗传算法的应用	174
5.7.1 GA 在神经网络参数学习中的应用	174
5.7.2 GA 在滑模控制系统设计中的应用	176
5.8 模糊规则与遗传算法在控制中的应用	181
习题与思考题	185
参考文献	187
第 6 章 模糊—神经网络及其在智能控制中的应用	188
6.1 模糊系统与神经网络集成的基本概念	188
6.1.1 模糊系统与神经网络的一般比较	188
6.1.2 模糊系统与神经网络集成的理由	189
6.2 基于神经网络的模糊系统	190
6.2.1 基于神经网络的基本模糊逻辑运算	190
6.2.2 基于神经网络的模糊逻辑推理	191
6.2.3 神经网络驱动的模糊推理系统	193
6.2.4 基于神经网络的模糊建模	196
6.3 模糊神经网络	204
6.3.1 模糊神经元	204

6.3.2 神经网络模糊化	206
6.4 神经-模糊控制器	212
6.4.1 模糊自适应学习控制网络	212
6.4.2 神经-模糊控制器的参数学习	218
6.4.3 神经-模糊控制器的结构学习	220
6.4.4 具有增强学习的神经-模糊控制器	223
6.5 神经-模糊网络在智能控制中的应用	229
6.5.1 控制系统在线辨识	229
6.5.2 逆向运动学问题	231
习题与思考题	234
参考文献	235

第7章 蚁群算法及其在智能控制中的应用..... 237

7.1 引言	237
7.2 蚁群觅食奥秘	237
7.2.1 蚁群觅食	237
7.2.2 蚁群的信息系统及使用机制	238
7.3 基本人工蚁群算法	239
7.3.1 人工蚁群与真实蚁群	239
7.3.2 基本的人工蚁群算法原理	240
7.3.3 基本人工蚁群算法模型	241
7.3.4 蚁群算法的蚁密模型、蚁量模型和蚁周模型	243
7.3.5 蚁群算法的参数	245
7.3.6 用蚁群算法求解 TSP 问题仿真示例	246
7.3.7 基本蚁群算法的收敛性	246
7.4 改进的蚁群优化算法	251
7.4.1 带精英策略的蚁群算法	251
7.4.2 基于优化排序的蚁群算法	251
7.4.3 最大-最小蚁群算法	252
7.5 用蚁群算法求解 Job Shop 问题	255
7.5.1 经典 Job Shop 问题的描述	255
7.5.2 基于蚁群算法 Job Shop 调度问题求解	257
习题与思考题	258
参考文献	258

第8章 人工免疫算法及其在智能控制中的应用..... 260

8.1 引言	260
--------------	-----

8.1.1	自然免疫系统的组成	260
8.1.2	自然免疫系统的机理	261
8.2	人工免疫系统与基本免疫算法简介	263
8.2.1	人工免疫系统定义	263
8.2.2	基本的人工免疫算法	263
8.3	基于生发中心反应的全局优化算法	267
8.3.1	生发中心反应机理	267
8.3.2	基于生发中心的全局优化算法	269
8.3.3	GOAIA-GCR 的收敛性证明	273
8.4	人工免疫网络算法(aiNet)	275
8.4.1	人工免疫网络简介	275
8.4.2	人工免疫网络算法在数据分析中的应用	276
	习题与思考题	279
	参考文献	279
第 9 章	粒子群算法及其在智能控制中的应用	281
9.1	引言	281
9.2	基本粒子群算法	281
9.2.1	基本粒子群算法的原理	281
9.2.2	基本粒子群算法	282
9.2.3	带惯性权重的粒子群算法	283
9.2.4	带收缩因子的粒子群算法	284
9.3	粒子群算法的分析	284
9.3.1	标准 PSO 算法分析	284
9.3.2	PSO 算法在二维空间的收敛分析	286
9.4	几种改进的粒子群算法	287
9.4.1	离散粒子群优化算法	287
9.4.2	小生境粒子群优化算法	289
9.5	粒子群算法在智能控制中的应用	290
9.5.1	用 PSO 算法求解 TSP 的应用	290
9.5.2	在机器人控制领域的应用	292
	习题与思考题	298
	参考文献	298

第 1 章 绪 论

本章首先对控制科学发展的历史予以简要回顾,对智能控制产生的背景进行必要分析;然后对智能控制的基本概念和主要研究内容进行讨论;最后对智能控制的发展动态加以述评,包括研究的现状和未来发展趋势的展望。

1.1 控制科学发展的历史回顾

在科学技术发展史上,控制科学同其他技术科学一样,它的产生与发展主要由人类的生产发展需求以及人类当时的技术和知识水平所决定。从古亚历山大运用反馈控制来调节水流的水钟到现代太空探索和大规模复杂工业系统的综合自动化,控制科学在技术进步中都起着十分重要的作用。

J. Watt 的飞球调节器保证了蒸汽机的有效运行,在工业革命中发挥了巨大的作用。此后,经过了 100 年, J. K. Maxwell 以飞球调节器系统为对象,完成了其稳定性分析的研究工作,从而拉开了关于控制系统分析和反馈原理等基础研究的序幕。1892 年, Lyapunov 发表了《论运动稳定性的一般问题》博士论文,建立了从概念到方法的关于稳定性理论的完整体系。当时,由于社会生产力发展的局限性,在 Lyapunov 的工作问世后近半个世纪内,除了为数不多的数学家和力学家之外,控制科学界并未对他的卓越贡献产生足够的重视。直到第二次世界大战之后,特别是 20 世纪 50 年代后期,由于控制科学中研究非线性系统大范围稳定性问题的推动,才掀起了相当持久的 Lyapunov 热,使他的理论在广度和深度上有了很大的发展。今天, Lyapunov 理论和方法在控制科学界已家喻户晓,在系统的稳定与镇定、二次型最优、模型参考自适应、大系统等众多领域得到了极广泛的应用与发展。

20 世纪 20 年代以来, Black、Nyquist、Bode 关于反馈放大器的研究,奠定了自动控制理论的基础,并在此基础上逐步发展形成了经典控制理论。

从 20 世纪 40 年代中到 50 年代末,由于生产过程局部自动化的需要,经典控制理论又进一步得到了发展和完善。进入 20 世纪 60 年代以来,因为人类探索空间的需要及电子计算机的飞速发展和普及,以多变量控制为特征的现代控制理论得到了重大发展。Apollo 宇宙飞船按最优轨线飞向月球的制导和登月艇的软着陆等都是现代控制理论的精彩应用成果。

自 20 世纪 70 年代开始,关于大系统理论及其应用的研究逐渐形成了一个专门领域。它综合了现代控制理论、图论、数学规划和决策方面的成果,不仅把复杂的工业系统作为研究的对象,并扩展到社会、政治经济系统和生态环境中。大系统理论涉及大系统的建模和模型简化,大系统的结构和信息,大系统的稳定性和镇定,以及大系统的递阶与分散控制。这些理论已成功地用于工农业生产、资源开发、水源管理、交通运输、环境保护等方面。

在现代控制理论和大系统理论中具有重要意义的工作有 Kalman 的滤波理论和能控

性、能观性理论, Pontryagin 的极大值原理, Bellman 的动态规划, Lyapunov 的稳定性理论等。它们同反馈、灵敏度及动态稳定性等概念相结合, 形成了完整的理论体系, 不仅推进了控制科学和技术的发展, 而且对其他学科领域也产生了很大的影响。

但是, 应当看到, 无论是现代控制理论还是大系统理论, 其分析、综合和设计都是建立在严格和精确的数学模型基础之上的。而在科学技术和生产力水平高速发展的今天, 人们对大规模、复杂和不确定性系统实行自动控制的要求不断提高。因此, 传统的基于精确数学模型的控制理论的局限性日益明显。所以我们说, 自 20 世纪 70 年代以来, 虽然控制理论以科学史上少有的速度经历了现代控制理论和大系统理论两个重要的发展阶段, 但是由于它对精确数学模型的依赖性, 使其应用受到很大的限制。

1.2 智能控制的产生背景

智能控制的概念和原理主要是针对被控对象、环境、控制目标或任务的复杂性而提出来的。而计算机科学、人工智能、信息科学、思维科学、认知科学和人工神经网络的连接机制等方面的新进展和智能机器人的工程实践, 从不同的角度为智能控制的诞生奠定了必要的理论和技术基础。被控对象的复杂性表现为: 模型的不确定性、高度非线性、分布式的传感器和执行器、动态突变、多时间标度、复杂的信息模式、庞大的数据量以及严格的特性指标。

环境的复杂性是以其变化的不确定和难以辨识为特征的。在传统的控制中, 往往只考虑控制系统和受控对象所组成的“独立”体系, 忽略了环境所施予的影响, 而现在的大规模复杂的控制和决策问题, 必须把外界环境和对象, 以及控制系统作为一个整体来进行分析和设计。

对于控制任务或控制目标, 以往都着眼于用数学语言进行描述, 这种描述经常是不精确的。实际上, 控制任务和目标有多重性(多目标)和时变性, 一个复杂任务的确定, 需要多次的反复, 而且还包括任务所含信息的处理过程, 也即任务集合的处理。

面对复杂的对象、复杂的环境和复杂的任务, 用传统的控制理论和方法去解决是不可能的, 这是因为:

(1) 传统的控制理论都是建立在以微分和积分为工具的精确模型之上的。迄今为止, 还不存在一种直接使用工程技术用语描述系统和解决问题的方法。从工程技术用语到数学描述的映射过程中, 一方面虽使问题作了很多简化, 但另一方面却使原问题丢失很多信息。随着科学技术的发展, 出现了很多必须建立在工程技术语言描述基础上的新型复杂系统, 譬如智能机器人或机器人、柔性和集成制造系统、包括自动车在内的自治系统、C³ 系统(Control, Computer & Command)、智能化通信系统以及智能化信息检索(SDI)系统等。所有这些系统具备一个十分重要的特点, 即有计算机作为工具而给予支持, 它会“思考”、会推理, 能部分地实现人的“智能”。对于这些复杂系统, 用传统的数学语言去分析和设计就显得无能为力, 因此, 必须寻求新的描述方法。

(2) 传统的控制理论虽然也有办法处理控制对象的不确定性和复杂性, 如自适应控制和鲁棒(Robust)控制, 也可以克服系统中所包含的不确定性, 达到优化控制的目的。但是自适应控制是以自动调节控制器的参数, 使控制器与被控对象和环境达到良好的“匹配”,

从而削弱不确定性的影响为目标的。从本质上说，自适应和自校正控制都是通过对系统某些重要参数的估计，以补偿的方法来克服干扰和不确定性。它较适合于系统参数在一定范围内慢变化的情况。鲁棒控制则是在一定的外部干扰和内部参数变化作用下，以提高系统的不灵敏度为宗旨来抵御不确定性的。根据这一思想和原理所导出的算法，其鲁棒的区域是很有限的。因此，在实际应用中，尤其在工业过程控制中，由于被控对象的严重非线性、数学模型的不确定性、系统工作点变化剧烈等因素，自适应和鲁棒控制存在着难以弥补的严重缺陷，其应用的有效性受到很大的限制，这就促使人们要提出新的控制技术和方法。

(3) 传统的控制系统输入信息比较单一，而现代的复杂系统要以各种形式——视觉的、听觉的、触觉的以及直接操作的方式，将周围环境信息(图形、文字、语言、声音和传感器感知的物理量)作为系统输入，并将各种信息进行融合(Fusion)、分析和推理，它要随环境与条件的变化，相应地采取对策或行动。对这样的控制系统就要求有自适应、自学习和自组织的功能，因而需要新一代的控制理论和技术来支持。

人类具有很强的学习和适应周围环境的能力，有些复杂的系统，凭人的知觉和经验能很好地进行操作并达到较理想的结果。这就产生了一种仿人的控制理论和方法，形成了智能控制产生的背景。

与传统的控制理论相比，智能控制对于环境和任务的复杂性有更大的适配程度。它不仅是对建立的模型，而且对于环境和任务能抽取多级的描述精度，进而发展了自学习、自适应和自组织等概念，所以能在更广泛的领域中获得应用。

1.3 智能控制的基本概念与研究内容

1.3.1 智能控制的基本概念

“智能控制”这个术语在 1967 年由 Leondes 等人提出。1971 年，傅京生^[4] (Kingsun Fu) 通过对含有拟人控制器的控制系统和自主机器人诸方面的研究，以“智能控制”这个词，概念性地强调系统的问题求解和决策能力。他把智能控制(IC)概括为自动控制(AC)和人工智能(AI)的交集，即

$$IC = AC \cap AI \tag{1.1}$$

可以用图 1.1 形象地表示这种交叉关系。

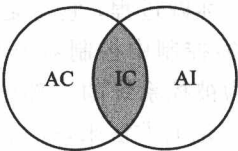


图 1.1 智能控制的二元交集论示意图

傅京生主要强调人工智能中“仿人”的概念与自动控制的结合。

以后，Saridis^[6, 7, 8]等人从机器智能的角度出发，对傅的二元交集论进行了扩展，引入运筹学，并以此作为另一个集合，提出如图 1.2 所示的三元交集的智能控制概念，即

$$IC = AI \cap OR \cap AC \tag{1.2}$$

式中 OR 表示运筹学。从图 1.2 可以看出，三元交集除“智能”与“控制”之外还强调了更高层次控制中调度、规划和管理的作用。这为他们所创导的递阶智能控制结构和理论提供了依据，这方面内容我们将在第 2 章中加以深入的讨论。

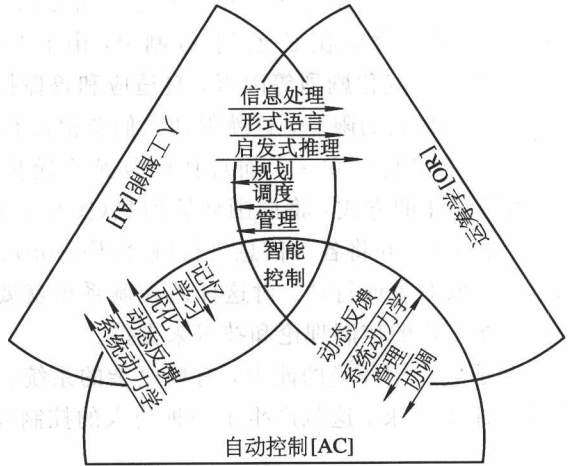


图 1.2 智能控制的三元交集论示意图

智能控制与传统的或常规的控制有着密切的关系，它们不是相互排斥的。一般情况下，常规控制往往包含在智能控制之中，智能控制也利用常规控制的方法来解决“低级”的控制问题，它力图扩充常规控制方法并建立一系列新的理论与方法来解决更具有挑战性的复杂控制问题。与常规控制相比较，智能控制所具有的特点如下：

(1) 智能控制所涉及的控制范围更广泛。它所研究的控制过程，不仅可以由微分/差分方程来描述，也可以由离散事件模型来描述，也可由二者混合的方法来描述，也可以用形式化语言或部分地用工程技术用语来描述。由此，在智能控制领域发展了传统或常规的控制系统理论。譬如，它可以用离散状态序列机方法来研究连续状态的动态过程。

(2) 智能控制的目标更为一般化。上面已经提到，智能控制必须满足巨大的不确定性，而一般固定反馈的鲁棒控制器或自适应控制器难以处理不确定性问题。智能控制的目标要在巨大的不确定性中实现。因此，在智能控制器中，要考虑故障诊断、控制重构、自适应和自学习等重要方面。可以认为，智能控制的控制问题是常规控制问题的一种增强形式，它具有任意性和一般性。

(3) 在传统的控制中，被控对象称做过程，它总是与控制器分离的。控制器由控制工程师设计，而对象则是给定的。智能控制中控制对象与控制器(或控制系统)不明显地分离。控制器可以嵌入对象之中而成为被控系统的一部分。这样，也为智能控制开辟了一种新的机会与挑战，有可能以更为系统化的方法来影响整个过程的设计。除了传统的控制之外，与智能控制有关的研究领域包括规划、学习、搜索算法、混合系统、故障诊断和系统重构、神经网络、模糊逻辑，以及 Petri 网等等。为了控制复杂系统，计算复杂性也是智能控制的中心议题之一。

1.3.2 智能与智能控制的定义

至今，智能和智能控制有许多不同的定义。它们都是从不同的角度，强调某些因素，

对智能和智能控制作出描述。现在列举几种定义,以便对智能与智能控制有较全面的了解。

按系统的一般行为特性,J. S. Albus^[10]把智能定义为在不确定的环境中做出合适动作的能力。合适动作是指增加成功的概率,而成功就是达到行为的子目标,以支持系统实现最终的目标。

对人造的智能系统而言,所谓合适的动作,就是摹仿生物或人类思想行为的功能。

智能有不同的程度或级别。低级智能表现为感知环境、作出决策、控制行为,低级动物就具有这种低级智能;较高级的智能表现为能认识对象和事件,表达环境模型中的知识,对未来作出规划和推理;高级智能表现为具有理解和觉察能力,能在复杂甚至险恶的环境中进行明智的选择,作出成功的决策,以求生存和进步。

成功和系统的最终目标是由智能系统的外界所确定的。对人造的智能机器,成功和目标的判据由设计员、程序员和操作员来确定。对生物,其最终目标是基因繁殖,而成功的判据则由自然选择过程所确定。

从人类的认知过程出发,A. Meystel认为智能是系统的一个特性,当集注(Focusing Attention)、组合搜索(Combinatorial Search)和归纳(Generalization)过程作用于系统输入信息并产生系统输出时,就表现有这种特性。这种智能的定义实质上就是把人类认知的过程——集注、组合搜索和归纳当作智能。所有智能的其他性质,包括学习、认知、分辨能力的存在性,都可以归纳为上述三个过程的存在性。因此,任何智能都可以看成集注(FA)、组合搜索(CS)和归纳(G)这三种过程或基本操作的作用结果。

对于机器智能,Saridis从信息处理的角度进行了定义,他提出机器智能是数据分析、组织并把它转换成知识的过程。而知识就是所得到的结构性信息,它可以用于智能机器来执行一个特定的任务,以消除该任务的不确定性或盲目性。根据这个定义引出了“机器智能与精度逆向增降”的原理,即“精度随智能的提高而降低”(IPDI)。我们在第2章会详细介绍这个重要的原理。

从以上有关智能或智能系统的定义中可知,智能必须确定目标。有了目标,可以在不确定的环境中,运用控制手段和方法,将系统逐步(在某些条件下,快速)移向目标,达到目标。因此,任何智能系统必定是一个控制系统。另一方面,在变化的环境和条件下,为了使系统具有所期望的功能,它必须具有智能。而且在控制中,为了达到高度的自治性,也必须具备智能。可见,智能与控制是密切相关的。正因为控制是智能系统的基本部分,故在许多工程文献中常用“智能控制”来代替“智能”,以突出智能系统中的控制作用。

但是从控制工程的角度来看,智能控制又有其特定的含义,需要有比较确切的定义。

像智能的定义一样,智能控制也可以用不同的观点,做出多种定义。

定性地说,智能控制系统应具有仿人的功能(学习、推理);能适应不断变化的环境;能处理多种信息以减少不确定性;能以安全和可靠的方式进行规划、产生和执行控制的动作,获取系统总体上最优或次优的性能指标。

相应地,从系统一般行为特性出发,J. S. Albus(1986)提出,智能控制是有知识的“行为舵手”,它把知识和反馈结合起来,形成感知—交互式、以目标为导向的控制系统。该系统可以进行规划,产生有效的、有目的的行为,在不确定的环境中,达到既定的目标。

从认知过程看,智能控制是一种计算上有效的过程,它在非完整的指标下,通过最基

本的操作,即归纳(G)、集注(FA)和组合搜索(CS),把表达不完善、不确定的复杂系统引向规定的目标。对人工智能机器而言,往往强调机器信息的加工和处理,强调语言方法、数学方法和多种算法的结合。因此,可以定义智能控制为认知科学的研究成果和多种数学编程的控制技术的结合。它把施加于系统的各种算法和数学与语言方法融为一体。

1.3.3 智能控制的主要研究内容

如前所述,智能控制系统应当对环境 and 任务的变化具有快速的应变能力,其控制器应该能够处理环境和任务的变化,决定要控制什么,应当采用什么样的控制策略。这就要求控制器应具有适应和决策功能,还应当能够进行符号处理,及时给出控制指令。因此,智能控制系统应当包含诸如知识库、推理机等智能信息处理单元。

由美国国家科学基金会和陆、海、空三军科学研究管理机构组织的专家组于1988年提出的题为《控制理论的未来发展方向》的报告中指出:智能控制理论必须考虑在各个层次上的系统模型的结构表达方法,必须研究关于学习、自适应和自组织等概念的数学描述。美国国家科学基金会于1992年发出的一个关于发展智能控制研究的建议中指出:智能控制研究工作的重心应放在对系统的问题描述和智能控制器设计等方面的新方法的研究上,而不是在下层拼凑诸如PID控制器之类的传统控制技术方法,在监控级开发基于规则的控制,并把它们连接,构成松耦合系统,应当着重于基础性控制工程方法的开发而不是技术演示。在人工智能的发展历史中,人们总是由于对人工智能技术的能力期望过高而后来感到失望太多。将人工智能应用于实时控制时,我们不能再重复这样的错误。关于人工智能在实时控制中的应用,应根据自然需要和解决问题的实际能力来决定采取哪种手段或方法。如果数学方法能够解决问题,就采用数学方法;如果数学方法不能够直接采用,则选择包括人工智能在内的其他方法。

根据智能控制的基本控制对象的开放性、复杂性、多层次、多时标和信息模式的多样性、模糊性、不确定性等的特点,智能控制的基本研究内容应从以下几个方面展开。

(1) 智能控制认识论和方法论的研究。探索人类的感知、判断、推理和决策的活动机理。

(2) 智能控制系统的基本结构模式的分类研究。着重于多个层次上系统模型的结构表达;学习、认知和自适应与自组织等概念的软分析和数学描述。

(3) 在根据实验数据和机理模型所建立的动态系统中,对不确定性的辨识、建模与控制。

(4) 含有离散事件和动态连续时间子系统的交互反馈混合系统(Hybrid System)的分析与设计。

(5) 基于故障诊断的系统组态理论和容错控制。

(6) 基于实时信息学习的自动规划生成与修改方法。

(7) 实时控制的任务规划的集成和基于推理的系统优化方法。

(8) 处理组合复杂性的数学和计算的框架结构。

(9) 在一定结构模式条件下,系统的结构性质分析和稳定性分析方法。

(10) 基于模糊逻辑和神经网络以及软计算的智能控制方法。

(11) 智能控制在工业过程和机器人等领域的应用研究。

目前,在智能控制的研究中,虽然对诸如“智能”和“智能控制”等最基本问题的概念和定义仍有一些争议,但关于智能控制及其相关领域的研究工作已如雨后春笋,在各个专业技术领域中迅速地发展起来了,而且在实际应用中已经取得了明显的成绩。

但是,应当清醒地看到,智能控制作为一门技术科学,经过了 20 世纪 60 年代的孕育期,70 年代到 80 年代前期的诞生和形成期,80 年代末期到 90 年代的发展期,至最近 10 几年,各种借鉴于自然界生物活动规律的智能算法,更是层出不穷。当前的研究重点应放在基础理论和机理的研究上。理论和机理研究上的突破,将给应用研究提供指导,应用的成功又会促进理论研究进一步深入。

值得指出的是,智能控制是从“仿人”的概念出发的。因此,为了发展智能控制,应该进一步从人类的感知和思维过程的机理研究入手,深入探索人脑的活动奥秘,建立模型,掌握人类判断、推理和决策的内在活动规律,并把它用于复杂系统的控制与决策,把“智能”提到更高的水平。从智能控制的理论方面,应该更强调从控制、人类认知和运筹学的交叉中建立新的概念和新的理论体系,不能囿于从传统的方法中借用某些概念。

智能控制是一门跨学科、需要多学科提供基础支持的技术科学。综观智能控制形成的历史过程,我们可以满怀信心地说,有众多学科发展成果的强有力支持,又有十分广泛的实际应用领域,智能控制必将取得长足的发展,为智能自动化提供理论基础,并将控制科学推向一个崭新的阶段。

参 考 文 献

- [1] Challenge to Control—A Collective View, Report of the Workshop. Univ of Santa Clara, 1986
- [2] Fleming W H. Future Directions in Control Theory: A Mathematical Perspective, Report of the Panel on Future Directions in Control Theory. SIAM Philadelphia, 1989
- [3] Fu K S, Waltz M. A Heuristic Approach to Reinforcement Learning Control Systems. IEEE Trans. Auto. Contr., 1965, 10(4): 390-398
- [4] Fu K S. Learning Control Systems and Intelligent Control Systems. IEEE Trans. Auto. Contr., 1971, 16(1): 70-72
- [5] Saridis G N. Self Organizing Controls of Stochastic Systems. New York: Marcel Decker, 1977
- [6] Saridis G N. Foundation of Intelligent Controls. Proc. IEEE Workshop on Intelligent Controls, RPI, Troy, NY, 1986: 23-28
- [7] Saridis G N. Towards the Realization of Intelligent Controls. Proceedings of IEEE, 1979, 67(8): 1115-1133
- [8] Saridis G N, Valavanis K P. Analytical Design of Intelligent Machines. Automatica, 1988, 4(2): 123-133
- [9] Brooks R A. Intelligence Without Reason. IJCAI'91, 1991, 569-595
- [10] Albus J S. Outline for a Theory of Intelligence. IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, 1991, 21(3): 473-509
- [11] Astrom K J, et al. Expert Control, Automatica, 1986, 22: 277-286
- [12] Astrom K J, Hang C C, Person P. Towards Intelligent PID Control. IFAC Second Workshop on Artificial Intelligence in Realtime Control, Shenyang, PRC, 1989
- [13] Meystel A. Intelligent Control: Issues and Perspectives. Proceedings of IEEE Workshop on Intelligent