

· 国家精品课程教材 ·

师黎 陈铁军 李晓媛 姚利娜 编著

智能控制 理论及应用

清华大学出版社



智能控制 理论及应用

师黎 陈铁军 李晓媛 姚利娜 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统地介绍了智能控制的基本概念、理论和主要方法,包括模糊控制、神经网络控制、专家控制系统、免疫控制、仿人智能控制、遗传算法、蚁群算法、基于DNA的软计算等。智能控制是自动控制发展的高级阶段,是人工智能、控制论、系统论、信息论、仿生学、神经生理学、进化计算和计算机等多种学科的高度综合与集成,是一门新兴的边缘交叉学科。本书较多地介绍了这些方法的融合和集成,如模糊神经网络、模糊专家系统、神经专家系统、遗传-模糊控制和遗传-神经网络等,并分析了混沌现象及特点,讨论了混沌控制。本书内容丰富,理论联系实际,并配有大量的MATLAB仿真例题和实际应用例子。

本书适合高等院校作为自动化专业、电气及信息类专业本科生和研究生的教材,也可供有关教师和工程技术人员参考。

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

智能控制理论及应用/师黎等编著. —北京:清华大学出版社,2009.4
ISBN 978-7-302-16157-8

I. 智… II. 师… III. 智能控制 IV. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第147027号

责任编辑:王敏稚

责任校对:时翠兰

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

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

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

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

印 刷 者:北京市人民文学印刷厂

装 订 者:三河市溧源装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:26.5 字 数:657千字

版 次:2009年4月第1版 印 次:2009年4月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:42.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:024835-01

智能控制是自动控制发展的高级阶段,是人工智能、控制论、系统论、信息论、仿生学、神经生理学、进化计算和计算机等多种学科的高度综合与集成,是一门新兴的边缘交叉学科。智能控制是当今国内外自动化学科中一个十分活跃和具有挑战性的领域,代表着当今科学技术发展的最新方向之一。而且智能控制目前尚未建立起一套完整的理论体系,是一门仍在不断发展和丰富中的具有众多学科集成特点的科学和技术。它不仅包含了自动控制、人工智能、运筹学和信息论的内容,而且还从计算机科学、生物学、心理学等学科中汲取丰富的营养,正在成为自动化领域中最兴旺和发展最迅速的一个分支学科,并被许多发达国家确认为提高国家竞争力的核心技术。

随着智能控制理论和技术的迅速发展,应用领域的不断扩展,并在工业生产、航空航天、生物医学、模式识别、能源工业、环境保护和国防军事等众多领域得到成功应用,智能控制受到控制领域专家和工程技术人员越来越多的重视,培养大批能熟练掌握和应用智能控制的控制工程师的需求也越来越迫切。而且智能控制中众多学科的交叉和融合,开放式的研究空间也为学生视野的开阔和创新能力的培养提供了一个很好的背景 and 平台。因此,近些年国内、外许多学校的控制专业和电气信息类专业陆续开设了智能控制这门课,并且从理论教学到实践教学方面都给予了足够的重视。本书在参考国内、外智能控制方面的重要文献基础上,结合近几年我们国家级精品课程“智能控制基础”的建设,对其主要内容进行整理和总结,同时也有部分内容是笔者研究工作的总结,如基于 ANFIS 多模型的故障诊断、基于 GA-BP 的冠心病早期诊断和基于 T-S 模型的递归神经网络等。

本书的部分内容在郑州大学电气工程学院本科生和研究生的“智能控制基础”课程中讲授过三遍,在国家级精品课程“智能控制基础”的建设中起了重要作用。本书的具体内容安排如下:

第 1 章是绪论。简要介绍智能控制的发展历史、基本概念、特点、结构理论、主要类型,阐述了智能控制与传统控制之间的关系和应用前景。

第 2 章介绍模糊控制。首先在简要介绍模糊控制的数学基础后,以一个简单模糊控制器的设计为例详细讲述模糊控制器的设计过程及注意事项。然后介绍“函数模糊系统”的特例——Takagi-Sugeno 模糊系统、模糊系统的 MATLAB 仿真,最后阐述模糊

系统非线性分析的必要性及主要方法,包括李雅普诺夫(Lyapunov)方法、圆判据、描述函数方法、小增益理论和滑模变结构方法。

第3章介绍模糊建模和模糊辨识。在介绍模糊系统的类型及分割形式后,阐述模糊系统的通用近似特性,重点介绍模糊辨识的常用方法:最小二乘法、梯度法、模糊聚类和混合方法。

第4章介绍神经网络控制。在概述神经网络的发展历史、人工神经元模型、神经网络特点和学习算法后,重点介绍两类常用的神经网络:前馈神经网络和反馈神经网络。前馈神经网络包括感知器神经网络、BP神经网络、RBF神经网络和LVQ神经网络;反馈神经网络包括离散型Hopfield网络、连续型Hopfield网络、Boltzmann机神经网络、Kohonen网络、ART网络、模糊ARTMAP神经网络。在此基础上系统地介绍了基于神经网络的控制,包括神经网络控制的基本思想、直接逆动态控制、神经网络自适应控制、神经网络PID控制和神经网络内模控制等。

第5章介绍模糊神经网络。首先阐述模糊系统和神经网络的优缺点,明确它们具有明显的互补性,介绍它们的融合形式:在模糊控制中引入神经网络;在神经网络中引入模糊逻辑;模糊系统与神经网络在结构上的融合。然后重点介绍两种模糊神经网络:ANFIS和基于T-S模糊模型的递归神经网络。并介绍了ANFIS在非线性系统-气动执行器的建模上的应用,以及基于T-S模糊模型的递归神经网络在系统辨识中的应用。

第6章介绍专家系统。在简要介绍专家系统的概念、结构、特点和分类的基础上,重点讲述专家控制系统,包括专家控制系统的结构、工作原理、专家控制器、专家控制系统的稳定性分析等。最后介绍专家控制系统的改进——模糊专家系统和神经网络专家系统,讲述了它们的应用实例。

第7章介绍遗传算法。首先介绍遗传算法的基本概念和特点,然后讲授遗传算法的基本操作和理论基础、遗传算法的实现和改进的遗传算法,最后介绍遗传算法与智能控制的融合以及遗传算法的应用。

第8章介绍了蚁群算法。首先介绍了蚁群算法的基本概念和特点,然后讲授基本蚁群算法、蚁群算法参数选择、改进的蚁群算法,最后介绍了蚁群算法的应用。

第9章介绍DNA计算与基于DNA的软计算。首先介绍DNA结构、DNA计算的原理,然后阐述DNA计算与软计算的集成,包括DNA计算与遗传算法、模糊系统、神经网络的集成。

第10章介绍免疫控制、仿人智能控制和混沌控制。首先介绍免疫算法的原理、常用的免疫算法、免疫控制及其应用。然后介绍仿人智能控制的基本思想、结构和控制算法。最后介绍了混沌现象及特点、混沌控制的思想 and 常用方法以及混沌控制的应用。

本书第1章由师黎和陈铁军编写;第2、3章由师黎和逯鹏编写;第4章由李晓媛和师黎编写;第5章由师黎和王丽佳编写;第6章由李晓媛编写;第7章由姚利娜和师黎编写;第8、9、10章由姚利娜编写。师黎为第4、7章提供了部分素材。全书由师黎

统稿。

在本书编写过程中得到了许多人的支持和帮助。李辉、崔佳、王丽佳、王治忠、邵国为本书提供了部分素材，陈明静、金晶为本书的文稿整理做了大量工作。在此，向以上提到的各位及其他为本书提供帮助的人们一并表示感谢！

由于笔者的水平所限，书中尚存在一些不足和错误，欢迎读者批评指正。

作 者

2009年1月

目录 S

CONTENT

第 1 章 绪论	1
1.1 智能控制的发展历史	1
1.2 智能控制的定义和特点	3
1.2.1 智能控制的定义	3
1.2.2 智能控制的特点	3
1.3 智能控制的结构理论	4
1.3.1 二元结构论	4
1.3.2 三元结构论	4
1.3.3 四元结构论	5
1.3.4 多元结构或者树形结构	5
1.4 智能控制与传统控制的关系	6
1.5 智能控制的研究对象	6
1.6 智能控制的类型	7
1.6.1 分级递阶控制系统	7
1.6.2 专家控制系统	7
1.6.3 人工神经网络控制系统	8
1.6.4 模糊控制系统	8
1.6.5 遗传算法与控制理论相结合	9
1.6.6 免疫算法控制	9
1.6.7 仿人智能控制	9
1.6.8 学习控制系统	10
1.6.9 混沌控制	10
1.7 智能控制的应用	10
1.7.1 智能控制在机器人技术中的应用	11
1.7.2 智能控制在机械制造中的应用	11
1.7.3 智能控制在电力电子学研究领域中的应用	11
1.7.4 智能控制在工业过程中的应用	11
1.7.5 智能控制在农业生产中的应用	12
1.7.6 智能控制在广义控制领域中的应用	12

1.8 本章小结	12
参考文献	12
第2章 模糊控制	14
2.1 模糊控制概述	14
2.1.1 模糊控制器设计步骤	15
2.1.2 性能评价	15
2.1.3 应用领域	16
2.2 模糊控制的数学基础	16
2.2.1 语言变量、语言值和规则	16
2.2.2 模糊集合、模糊规则和模糊推理	18
2.2.3 解模糊	26
2.3 一个示范例子的介绍	29
2.3.1 模糊控制器的输入和输出的选择	30
2.3.2 把控制知识融入规则中	31
2.3.3 知识的模糊量化	34
2.3.4 匹配: 决定用哪一条规则	36
2.3.5 结论步骤: 确定结论	39
2.3.6 把结论转换成控制作用	40
2.3.7 模糊决策的图形描述	43
2.4 Takagi-Sugeno 模糊系统	44
2.4.1 Takagi-Sugeno 模糊系统	44
2.4.2 模糊系统是通用近似器	46
2.4.3 广义 T-S 模糊模型	46
2.5 基于 MATLAB 的智能控制系统设计与仿真	47
2.5.1 模糊逻辑工具箱	47
2.5.2 基于 MATLAB 的模糊控制系统设计与仿真	48
2.6 模糊系统的非线性分析	54
2.6.1 模糊控制器的参数化	55
2.6.2 李雅普诺夫稳定性分析	57
2.6.3 绝对稳定性和圆判据	65
2.6.4 稳态跟踪误差的分析	67
2.6.5 描述函数分析方法	69
2.6.6 滑模变结构方法	69
2.6.7 小增益理论	70
2.6.8 相平面分析法	70
2.7 热处理系统的温度模糊控制	70
2.8 本章小结	72
习题	72
参考文献	74

第 3 章 模糊建模和模糊辨识	75
3.1 引言	75
3.2 模糊模型的类型与分割形式	76
3.2.1 Mamdani 模糊模型	76
3.2.2 Takagi-Sugeno 模糊系统	77
3.2.3 Tsukamoto 模糊模型	78
3.2.4 模糊模型的分割形式	79
3.3 模糊系统的通用近似特性	79
3.3.1 模糊基函数	79
3.3.2 模糊系统的通用逼近性	80
3.3.3 用于函数近似的模糊系统求解	82
3.4 模糊辨识的数据选择	83
3.5 模糊辨识和估计的最小二乘算法	84
3.5.1 成批最小二乘算法	84
3.5.2 递推最小二乘算法	85
3.5.3 模糊系统的调整	87
3.5.4 模糊系统的成批最小二乘训练	89
3.5.5 模糊系统的递推最小二乘训练	89
3.6 模糊辨识和估计的梯度法	89
3.6.1 标准模糊系统的训练	90
3.6.2 T-S 模糊系统的训练	92
3.6.3 动量项和步长大小	93
3.6.4 牛顿(Newton)和高斯-牛顿(Gauss-Newton)方法	93
3.7 模糊的聚类法	96
3.7.1 优化输出预解模糊的聚类方法	96
3.7.2 最近邻聚类法	99
3.8 复合法	100
3.8.1 混合初始化/训练	100
3.8.2 混合条件/结论训练	100
3.8.3 混合交叉训练	100
3.9 本章小结	100
习题	101
参考文献	101
第 4 章 神经网络控制	102
4.1 神经网络理论概述	102
4.1.1 神经网络的发展历史	103
4.1.2 神经网络原理	105
4.1.3 神经网络的特点	107

4.1.4	神经网络结构	109
4.1.5	神经网络的学习	110
4.2	前馈神经网络	113
4.2.1	感知器	113
4.2.2	BP 神经网络	119
4.2.3	RBF 神经网络	130
4.2.4	LVQ 神经网络	141
4.3	反馈神经网络	144
4.3.1	Hopfield 网络概述	145
4.3.2	离散型 Hopfield 网络	145
4.3.3	连续型 Hopfield 网络	155
4.3.4	Boltzmann 机网络	161
4.3.5	Kohonen 网络	167
4.3.6	自适应谐振理论(ART)网络	172
4.3.7	模糊自适应共振理论网络	174
4.4	神经网络控制	184
4.4.1	神经网络控制的基本思想	184
4.4.2	直接逆动态控制	185
4.4.3	神经网络自适应控制	187
4.4.4	神经网络 PID 控制	192
4.4.5	神经网络内模控制	200
4.4.6	神经网络模型预测控制	206
4.5	本章小结	207
	习题	208
	参考文献	208
第 5 章	模糊神经网络	211
5.1	引言	211
5.2	模糊系统与神经网络的融合方式	212
5.2.1	基于模糊技术的神经网络	212
5.2.2	基于神经网络的模糊系统	212
5.2.3	模糊逻辑与神经网络在结构上的融合	212
5.3	模糊神经网络学习算法研究	213
5.4	自适应神经网络模糊推理系统(ANFIS)	213
5.4.1	自适应网络	213
5.4.2	自适应神经-模糊推理系统	222
5.4.3	基于多模型的气动执行器故障诊断	225
5.5	基于 T-S 模糊模型的递归神经网络及其在系统辨识中的应用	232
5.5.1	基于 T-S 模糊模型的递归神经网络	232
5.5.2	基于 T-S 模糊模型的递归神经网络在系统辨识中的应用	234

5.5.3 仿真实例·····	236
5.6 本章小结·····	239
习题·····	240
参考文献·····	240
第6章 专家系统 ·····	243
6.1 概述·····	243
6.1.1 专家系统的概念·····	244
6.1.2 专家系统的结构·····	246
6.1.3 专家系统的特点与分类·····	248
6.1.4 专家系统的建立步骤·····	251
6.2 专家控制系统·····	252
6.2.1 专家控制系统的结构与工作原理·····	254
6.2.2 实时专家控制系统·····	256
6.2.3 专家控制器·····	258
6.2.4 PID 专家控制器应用实例·····	261
6.2.5 专家控制系统的稳定性·····	264
6.3 模糊专家系统·····	264
6.3.1 模糊专家系统的基本结构·····	265
6.3.2 建立模糊专家系统·····	265
6.3.3 模糊专家系统应用实例 1——基于模糊专家系统的 电针灸器的设计·····	267
6.3.4 模糊专家系统应用实例 2——智能水下机器人 自救模糊专家系统·····	269
6.4 神经网络专家系统·····	272
6.4.1 神经网络与专家系统的集成·····	272
6.4.2 神经网络专家系统的基本结构·····	273
6.4.3 神经网络专家系统的知识库·····	276
6.4.4 神经网络专家系统的推理机制·····	276
6.4.5 神经网络专家系统的解释机制·····	277
6.4.6 神经网络专家系统的实例——基于神经网络专家系统的火电厂 锅炉在线故障诊断·····	278
6.5 本章小结·····	281
习题·····	282
参考文献·····	283
第7章 遗传算法 ·····	285
7.1 遗传算法概述·····	285
7.1.1 遗传算法的发展概况·····	285
7.1.2 遗传算法的生物学基础·····	286

7.1.3 遗传算法的特点	287
7.2 遗传算法的基本操作	289
7.2.1 复制	290
7.2.2 交叉	291
7.2.3 变异	292
7.3 遗传算法的理论基础	293
7.3.1 模式定理	293
7.3.2 积木块假说	295
7.3.3 内在并行性	296
7.3.4 Walsh 模式变换	297
7.3.5 编码	299
7.3.6 适应度函数及其尺度变换	301
7.4 遗传算法的实现及改进算法	303
7.4.1 遗传算法的实现	303
7.4.2 改进的遗传算法	305
7.5 遗传算法和其他智能控制技术的融合	307
7.5.1 遗传算法和模糊控制的融合	307
7.5.2 遗传算法和神经网络的融合	310
7.6 遗传算法的应用	312
7.7 本章小结	315
习题	315
参考文献	316
第 8 章 蚁群算法	317
8.1 概述	317
8.1.1 蚁群的群体行为	317
8.1.2 蚁群算法的特点	318
8.2 基本蚁群算法	319
8.2.1 蚁群算法的原理	319
8.2.2 蚁群算法的实现	320
8.3 蚁群算法参数选择	324
8.3.1 蚁群算法参数对其性能的影响	324
8.3.2 蚁群算法参数选择方法	325
8.4 改进的蚁群算法	325
8.4.1 Ant-Q 蚁群算法	326
8.4.2 ACS 算法	326
8.4.3 最大-最小蚂蚁系统	327
8.4.4 自适应蚁群算法	328
8.4.5 其他改进算法	330
8.5 蚁群算法的应用实例	331

8.5.1 基于蚁群算法的 PID 参数优化过程	331
8.5.2 计算机仿真结果	332
8.6 本章小结	333
习题	333
参考文献	334
第 9 章 DNA 计算与基于 DNA 的软计算	335
9.1 DNA 计算	335
9.1.1 概述	335
9.1.2 DNA 的结构	336
9.1.3 DNA 计算的原理	338
9.2 DNA 计算与其他软计算的集成	338
9.2.1 DNA 计算与遗传算法的集成	338
9.2.2 DNA 计算与模糊系统的集成	348
9.2.3 DNA 计算与神经网络的集成	360
9.3 本章小结	369
习题	369
参考文献	370
第 10 章 其他智能控制	373
10.1 免疫控制	373
10.1.1 免疫及免疫算法简介	373
10.1.2 常用的免疫算法	374
10.1.3 免疫控制	379
10.1.4 免疫控制应用实例	380
10.2 仿人智能控制	382
10.2.1 仿人智能控制的基本思想和基本概念	382
10.2.2 仿人智能控制系统结构	384
10.2.3 仿人智能控制算法	387
10.3 混沌控制	390
10.3.1 混沌概述	390
10.3.2 混沌控制方法	392
10.3.3 混沌控制应用	401
10.4 本章小结	404
习题	405
参考文献	405

第 1 章

绪 论

智能控制是自动控制发展的高级阶段,是人工智能、控制论、系统论、信息论、仿生学、神经生理学、进化计算和计算机等多种学科的高度综合与集成,是一门新兴的边缘交叉学科。智能控制是当今国内、外自动化学科中一个十分活跃和具有挑战性的领域,代表着当今科学和技术发展的最新方向之一。而且智能控制目前尚未建立起一套完整的理论体系,是一门仍在不断发展和丰富中的具有众多学科集成特点的科学和技术。它不仅包含了自动控制、人工智能、系统理论和计算机科学的内容,而且还从生物学、心理学等学科中汲取丰富的营养,正在成为自动化领域中最兴旺和发展最迅速的一个分支学科,并被许多发达国家确认为提高国家竞争力的核心技术^[1,2]。

1.1 智能控制的发展历史

智能控制的发展历史可以概括为以下 4 个阶段。

1. 智能控制的萌芽阶段(1965 年以前)

美国著名的控制论创始人维纳(N. Wiener)于 1948 年出版了《控制论-或关于在动物和机器中控制和通讯的科学》著作,系统地论述了控制理论的一般方法,推广了反馈的概念,奠定了控制科学的理论基础。20 世纪 40~60 年代,以频率法为代表的单变量系统控制理论逐步发展起来,并且成功地运用在雷达及火力控制系统上,形成了今天所说的“古典控制理论”。20 世纪 60~70 年代,由于计算机的飞速发展,推动了空间技术的发展。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,用于描述系统的动态过程,即所谓的状态空间法。数学家们在控制理论这一阶段的发展中占据了主导地位,形成了以状态空间法为代表的“现代控制理论”,控制理论建立在严密、精确的数学模型之上,从而造成了理论与实践之间的巨大分歧^[3]。这一阶段的控制系统具有初步的智能和一定的自适应性,如 PID 控制和模型参考自适应控制。

2. 智能控制的发展初期(1965—1979 年)

工业系统往往呈现高维、非线性、分布参数、时变、不确定性等复杂特征。建立于严密的数学理论上的控制理论无法应用于大量的工业系统,理论的发展受到挫折,而模拟人类智能的人工智能却迅速发展起来。控制理论从人工智能中吸取营养寻求发展成为必然。1965 年,美国普渡大学的傅京孙(K. S. Fu)教授首先提出了学习控制的概念,引入了人工智能

的自觉推理,提出把人工智能的自觉推理规则方法用于学习控制系统。次年,Mendel 在空间飞行器的学习控制中应用了人工智能技术,并提出了“人工智能控制”的新概念;同年,Leonde 和 Mendel 首次使用了“智能控制(Intelligent Control)”一词,并把记忆、目标分解等技术用于学习控制系统,提高了系统处理不确定性问题的能力。这些反映了智能控制思想的早期萌芽,被称为智能控制的孕育期。

20 世纪 70 年代关于智能控制的研究是对 60 年代这一思想雏形的进一步深化。1971 年,傅京孙发表了重要论文,从控制论角度进一步总结人工智能技术与自适应、自组织、自学习控制的关系,提出了智能控制就是人工智能与自动控制的交叉的“二元论”思想;1974 年,英国的 Mamdani 教授首次成功地将模糊逻辑用于蒸汽机控制,开创了模糊控制的新方向;1977 年,Saridis 出版的专著和 1979 年发表的综述文章,全面地论述了从反馈控制到最优控制,随机控制及至自适应控制、自组织控制、学习控制,最终向智能控制发展的过程,提出了智能控制是人工智能、运筹学、自动控制相交叉的“三元论”思想及分级递阶的智能控制系统框架。

3. 智能控制的迅速发展时期(1980—1991 年)

20 世纪 80 年代,智能控制的研究进入了迅速发展时期。1984 年,Astrom 发表了论文,这是第一篇直接将人工智能的专家系统技术引入到控制系统的代表作,明确地提出了建立专家控制的新概念,并取得了一批应用成果。例如,1983 年萨里迪斯(Saridis)把智能控制用于机器人系统;1987 年 4 月,美国 Foxboro 公司公布了新一代的 IA 系列智能控制系统。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应用方面的综合先进水平,标志着智能控制系统已由研制、开发阶段转向应用阶段;与此同时,Hopfield 提出的 Hopfield 网络及 Rumelhart 提出的 BP 算法为一直处于低潮的人工神经网络的研究注入了新的活力,继 Kilmer 和 McCulloch 提出 KBM 模型实现对“阿波罗”登月车的控制之后,人工神经网络再次被引入控制领域,并迅速得到了广泛的应用,从而开辟了神经网络控制学科;1985 年 8 月,IEEE 在美国纽约召开了第一届智能控制学术讨论会;1987 年 1 月,在美国费城山 IEEE 控制系统学会与计算机学会联合召开了第一届智能控制国际会议,这标志着智能控制作为一门新学科正式建立起来。

4. 智能控制新的发展阶段(1992 年至今)

进入 20 世纪 90 年代,智能控制的研究势头异常迅猛,1992 年 4 月美国国家自然科学基金会和电力研究院联合发出“智能控制”研究项目倡议书;1993 年 5 月美国 IEEE 控制系统学会智能控制专业委员会成立专家小组,专门探讨“智能控制”的含义;1994 年 6 月在美国奥兰多召开了全球计算智能大会,将模糊系统、神经网络、进化计算三方面内容综合在一起召开,引起国际学术界的广泛关注,这三门新学科已成为研究智能控制的重要基础^[2]。智能技术在国内也受到广泛重视,中国自动化学会等于 1993 年 8 月在北京召开了第一届全球华人智能控制与智能自动化大会;1995 年 8 月在天津召开了智能自动化专业委员会成立大会及首届中国智能自动化学术会议;1997 年 6 月在西安召开了第二届全球华人智能控制与智能自动化大会。

近年来,智能控制技术在国内、外已有了较大的发展,关于智能控制的研究论文、著作、会议、期刊大量涌现,应用对象也更加广泛,已进入工程化、实用化的阶段。但作为一门新兴

的理论和技術,它还处在一个发展时期,到目前为止还没有形成完整的理论体系。然而,随着人工智能技术、计算机技术的迅速发展,智能控制必将迎来它的发展新时期。

1.2 智能控制的定义和特点

1.2.1 智能控制的定义

智能控制的概念和原理是针对被控对象及其环境、控制目标或任务的复杂性和不确定性而提出来的。对“智能控制”这一术语还没有确切的定义,IEEE 控制系统协会归纳为:智能控制系统必须具有模拟人类学习(Learning)和自适应(Adaptation)的能力。定性地说,智能控制系统应具有学习、记忆和大范围的自适应和自组织能力;能够及时地适应不断变化的环境;能有效地处理各种信息,以减小不确定性;能以安全和可靠的方式进行规划、生产和执行控制动作而达到预定的目标和良好的性能指标^[3]。

1.2.2 智能控制的特点

智能控制具有以下几个特点:

(1) 智能控制系统具有较强的学习能力。系统能对未知环境提供的信息进行识别、记忆、学习、融合、分析、推理,并利用积累的知识和经验不断优化、改进和提高自身的控制能力。

(2) 智能控制系统具有较强的自适应能力。系统具有适应受控对象动力学特性变化、环境特性变化和运行条件变化的能力。

(3) 智能控制系统具有足够的关于人的控制策略、被控对象及环境的有关知识以及运用这些知识的能力。

(4) 智能控制系统具有判断决策能力。系统满足一般组织结构“智能递增,精度递减”的基本原理,具有高度可靠性。

(5) 智能控制系统具有较强的容错能力。系统对各类故障具有自诊断、屏蔽和自恢复能力。

(6) 智能控制系统具有较强的鲁棒性。系统性能对环境干扰和不确定性因素不敏感。

(7) 智能控制系统具有较强的组织功能。系统对于复杂任务和分散的传感信息具有自组织和协调功能,使系统具有主动性和灵活性。

(8) 智能控制系统的实时性好。系统具有较强的在线实时响应能力。

(9) 智能控制系统的人-机协作性能好。系统具有友好的人-机界面,以保证人-机通信、人-机互助和人-机协同工作。

(10) 智能控制具有变结构和非线性的特点。其核心在高层控制,即组织级,能对复杂系统进行有效的全局控制,实现广义问题求解。

(11) 智能控制器具有总体自循优特性。

(12) 智能控制系统应能满足多样性目标的高性能要求。

1.3 智能控制的结构理论

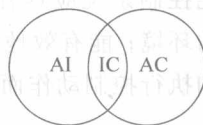
智能控制的理论结构明显地具有多学科交叉的特点,许多研究人员尝试建立起智能控制这一新学科,他们提出了一些有关智能控制系统结构的思想。

1.3.1 二元结构论^[1]

傅京孙曾对几个与自学习控制(Learning Control)有关的领域进行了研究,这些研究领域是:

- (1) 含有拟人控制器的控制系统;
- (2) 含有人-机控制器的控制系统;
- (3) 自主机器人系统。

为了强调系统的问题求解和决策能力,他用“智能控制系统”来概括这些领域,他指出智能控制系统描述自动控制系统与人工智能交接的作用,可以用式(1-1)和图 1-1 来表示这种交接作用,并把它称为二元交集结构。



$$IC = AI \cap AC \quad (1-1)$$

IC——智能控制(Intelligent Control);

AI——人工智能(Artificial Intelligence);

AC——自动控制(Automatic Control);

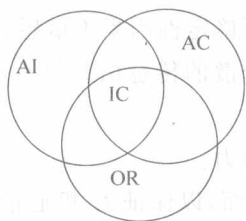
$\cap$ ——表示交集。

人工智能(AI)是一个知识处理系统,具有记忆、学习、信息处理、形式语言、启发式推理等功能。

自动控制(AC)描述系统的动力学特性,是一种动态反馈。

1.3.2 三元结构论

Saridis 于 1977 年提出另一种智能控制结构,它把傅京孙的智能控制扩展为三元结构,



即把智能控制看作人工智能、自动控制和运筹学的交接,如图 1-2 所示,可用式(1-2)来描述这种结构。Saridis 认为,构成二元交集结构的二元互相支配,无助于智能控制的有效和成功应用。须把运筹学的概念引入智能控制,使之成为三元交集中的一个子集。这种三元结构后来成为 IEEE 第一次智能控制研讨会(1985 年 8 月在纽约召开)的主题之一。

$$IC = AI \cap AC \cap OR \quad (1-2)$$

IC——智能控制(Intelligent Control);

AI——人工智能(Artificial Intelligence);

AC——自动控制(Automatic Control);

OR——运筹学(Operation Research);

$\cap$ ——表示交集。