



全国工程专业学位研究生教育国家级规划教材

# 智能控制

李士勇 李 研 编著



清华大学出版社

# 全国工程专业学位研究生教育国家级规划教材

清华大学出版社数字出版网站

WQBook    
www.wqbook.com

ISBN 978-7-302-43656-0



9 787302 436560 >

定价：39.00元

## 内 容 简 介

智能控制被誉为继经典控制、现代控制理论之后创立的第三代控制理论,它研究应用计算机模拟人类智能对难以建模的复杂对象进行自动控制的理论、方法与技术。本书内容包括:从传统控制到智能控制,模糊控制,神经控制,专家控制,仿人智能控制,递阶智能控制,学习控制,智能优化算法,智能控制与智能优化的融合,智能控制的工程应用实例。全书由浅入深、深入浅出地阐述智能控制的基本概念、原理、方法及其应用。

本书是全国工程专业学位研究生教育国家级规划教材,既可作为自动化及相关专业工程硕士研究生教材,也可作为相关专业高年级本科生及科技人员学习参考书。

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/李士勇,李研编著.--北京:清华大学出版社,2016

全国工程专业学位研究生教育国家级规划教材

ISBN 978-7-302-43656-0

I. ①智… II. ①李… ②李… III. ①智能控制—研究生—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 084675 号

责任编辑:王一玲

封面设计:何凤霞

责任校对:时翠兰

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm 印 张:15.5 字 数:330千字

版 次:2016年6月第1版 印 次:2016年6月第1次印刷

印 数:1~2500

定 价:39.00元

# 目 录

第 1 章 从传统控制到智能控制 .....	1
1.1 自动控制的基本问题 .....	1
1.1.1 自动控制的概念 .....	1
1.1.2 自动控制的目的及要求 .....	2
1.1.3 自动控制中的矛盾问题 .....	2
1.2 自动控制的基本原理 .....	2
1.2.1 控制论的创立 .....	2
1.2.2 反馈是自动控制的精髓 .....	3
1.2.3 反馈在闭环控制中的作用 .....	3
1.2.4 反馈控制的基本模式 .....	4
1.3 控制理论发展的历程 .....	5
1.3.1 经典控制理论 .....	5
1.3.2 现代控制理论 .....	6
1.3.3 智能控制理论 .....	7
1.4 智能控制理论的基本内容 .....	8
1.4.1 智能控制的基本概念 .....	8
1.4.2 智能控制的多学科交叉 .....	10
1.4.3 智能控制的基本原理 .....	11
1.4.4 智能控制的基本功能 .....	12
1.4.5 智能控制的基本要素 .....	13
1.4.6 智能控制系统的结构 .....	13
1.4.7 智能控制的类型 .....	15
启迪思考题 .....	15

# Contents

第 2 章 基于模糊逻辑的智能控制 .....	16
2.1 模糊控制概述 .....	16
2.1.1 模糊控制的创立与发展 .....	16
2.1.2 模糊控制器的分类 .....	17
2.2 模糊逻辑基础 .....	18
2.2.1 基于二值逻辑的经典集合 .....	18
2.2.2 模糊集合与模糊概念 .....	18
2.2.3 模糊集合及其运算 .....	19
2.2.4 模糊矩阵与模糊向量 .....	23
2.2.5 模糊关系 .....	26
2.2.6 模糊逻辑推理 .....	28
2.2.7 模糊系统的万能逼近特性 .....	31
2.3 模糊控制的原理 .....	32
2.3.1 模糊控制系统的组成 .....	33
2.3.2 模糊控制的工作原理 .....	33
2.3.3 模糊控制器的控制性能 .....	38
2.4 经典模糊控制器的设计方法 .....	39
2.4.1 模糊控制器的结构设计 .....	39
2.4.2 模糊控制规则的设计 .....	40
2.4.3 Mamdani 模糊推理法 .....	43
2.4.4 精确量的模糊化及量化因子 .....	44
2.4.5 模糊量的清晰化及比例因子 .....	46
2.4.6 查表式模糊控制器设计 .....	46
2.4.7 解析式模糊规则自调整控制器 .....	51
2.5 T-S 型模糊控制器设计 .....	52
2.5.1 T-S 模糊模型 .....	52
2.5.2 基于 T-S 模型的模糊推理 .....	53
2.5.3 T-S 型模糊控制系统设计 .....	54
2.6 模糊-PID 控制 .....	55
2.6.1 模糊-PID 复合控制 .....	55
2.6.2 基于模糊推理优化的 PID 控制 .....	55
2.7 自适应模糊控制 .....	57
2.7.1 模糊系统辨识 .....	57
2.7.2 自适应模糊控制的基本原理 .....	59

2.7.3	模型参考自适应模糊控制	61
2.8	模糊控制的实现技术	62
2.8.1	模糊控制软件开发工具	62
2.8.2	模糊控制芯片	63
2.9	基于 MATLAB 的模糊控制系统设计	64
2.9.1	MATLAB 模糊逻辑工具箱	64
2.9.2	基于 MATLAB 的模糊控制系统仿真	67
	启迪思考题	71
<b>第 3 章</b>	<b>基于神经网络的智能控制</b>	<b>72</b>
3.1	神经网络系统基础	72
3.1.1	神经网络研究概述	72
3.1.2	神经细胞结构与功能	73
3.1.3	人工神经元模型	74
3.1.4	神经网络的特点	75
3.1.5	神经网络结构与模型	77
3.1.6	神经网络训练与学习	78
3.1.7	神经网络的学习规则	80
3.2	控制中的常用神经网络	82
3.2.1	感知器	82
3.2.2	前向神经网络	83
3.2.3	径向基神经网络	85
3.2.4	反馈神经网络	87
3.2.5	小脑模型神经网络	90
3.2.6	大脑模型自组织神经网络	92
3.2.7	Boltzmann 机	95
3.3	基于神经网络的系统辨识	96
3.3.1	神经网络的逼近能力	96
3.3.2	神经网络系统辨识的原理	97
3.3.3	基于 BP 网络的非线性系统模型辨识	98
3.4	基于神经网络的智能控制	99
3.4.1	神经控制的基本原理	99
3.4.2	基于神经网络智能控制的类型	100
3.4.3	基于传统控制理论的神经控制	102
3.5	神经 PID 控制	103

3.5.1	神经元 PID 控制 .....	103
3.5.2	自适应神经元 PID 控制 .....	105
3.6	神经自适应控制 .....	107
3.6.1	模型参考神经自适应控制 .....	107
3.6.2	神经自校正控制 .....	108
3.7	基于 MATLAB 的神经控制系统设计 .....	110
3.7.1	MATLAB 神经网络工具箱 .....	110
3.7.2	基于 MATLAB 的模型参考神经自适应控制系统仿真 .....	114
	启迪思考题 .....	119
<b>第 4 章</b>	<b>专家控制与仿人智能控制 .....</b>	<b>120</b>
4.1	专家系统的基本概念 .....	120
4.1.1	专家与专家系统 .....	120
4.1.2	专家系统的基本结构 .....	121
4.2	专家系统的结构与原理 .....	122
4.2.1	专家控制系统的特点 .....	122
4.2.2	专家控制系统的结构 .....	122
4.2.3	专家控制系统的原理 .....	124
4.2.4	实时过程控制专家系统举例 .....	124
4.3	专家控制器 .....	125
4.3.1	专家控制器的结构 .....	126
4.3.2	一种工业过程专家控制器设计 .....	127
4.4	仿人智能控制 .....	128
4.4.1	从常规 PID 控制谈起 .....	128
4.4.2	仿人智能控制的基本思想 .....	129
4.4.3	系统动态行为的特征识别 .....	130
4.4.4	仿人智能控制原理 .....	132
4.5	仿人智能控制的多种模式 .....	133
4.5.1	仿人智能积分控制 .....	134
4.5.2	仿人智能采样控制 .....	136
4.5.3	基于极值采样的仿人智能控制 .....	138
	启迪思考题 .....	140
<b>第 5 章</b>	<b>递阶智能控制与学习控制 .....</b>	<b>142</b>
5.1	大系统控制的形式与结构 .....	142

5.1.1	大系统控制的基本形式	142
5.1.2	大系统控制的递阶结构	143
5.2	递阶控制的基本原理	144
5.2.1	协调的基本概念	144
5.2.2	协调的基本原则	145
5.3	递阶智能控制的结构与原理	145
5.3.1	递阶智能控制的结构	145
5.3.2	递阶智能控制的原理	146
5.4	蒸汽锅炉的递阶模糊控制	147
5.4.1	模糊变量与规则间的数量关系	147
5.4.2	递阶模糊控制规则	148
5.4.3	蒸汽锅炉的两级递阶模糊控制系统	149
5.5	学习控制系统	150
5.5.1	学习控制的基本概念	150
5.5.2	迭代学习控制	151
5.5.3	重复学习控制	152
5.5.4	其他学习控制形式	153
5.6	基于规则的自学习控制系统	155
5.6.1	产生式自学习控制系统	155
5.6.2	基于规则的自学习模糊控制举例	156
	启迪思考题	158

## 第6章 智能优化原理与算法

6.1	智能优化算法概述	160
6.1.1	模糊计算与神经计算	160
6.1.2	进化计算	161
6.1.3	人工免疫算法	162
6.1.4	群智能优化算法	163
6.1.5	模拟退火算法	164
6.1.6	禁忌搜索算法	164
6.2	智能优化算法的理论基础	164
6.2.1	系统科学	164
6.2.2	复杂适应系统理论	165
6.2.3	复杂适应系统的运行机制	167
6.2.4	复杂适应系统理论的特点	168



6.2.5	智能优化算法的原理 .....	169
6.3	RBF 神经网络优化算法 .....	170
6.3.1	RBF 神经网络 .....	170
6.3.2	RBF 网络学习算法 .....	171
6.3.3	RBF 神经网络在控制中的应用 .....	172
6.4	遗传算法 .....	173
6.4.1	生物的进化与遗传 .....	173
6.4.2	遗传算法的基本概念 .....	173
6.4.3	遗传算法的基本操作 .....	174
6.4.4	遗传算法实现步骤 .....	175
6.4.5	遗传算法用于函数优化 .....	177
6.4.6	遗传算法和模糊逻辑及神经网络的融合 .....	178
6.5	粒子群优化算法 .....	181
6.5.1	粒子群优化的基本思想 .....	181
6.5.2	粒子群优化算法原理 .....	181
6.5.3	PSO 算法步骤 .....	182
6.5.4	PSO 算法的改进及应用 .....	184
6.6	免疫优化算法 .....	185
6.6.1	免疫学的基本概念 .....	185
6.6.2	免疫系统的组织结构 .....	186
6.6.3	免疫机制与克隆选择理论 .....	186
6.6.4	人工免疫模型与免疫算法 .....	188
6.6.5	免疫应答中的学习与优化 .....	189
6.6.6	克隆选择算法 .....	192
6.6.7	免疫优化算法的应用 .....	193
	启迪思考题 .....	194
<b>第 7 章</b>	<b>智能控制和智能优化的融合 .....</b>	<b>196</b>
7.1	智能控制和智能优化的融合 .....	196
7.2	智能优化的快速算法 .....	197
7.3	粒子群优化的模糊控制器设计 .....	197
7.3.1	PSO 基本算法 .....	197
7.3.2	模糊控制器的设计原理 .....	199
7.3.3	PSO 优化的模糊控制器在主汽温控制中的应用 .....	200
7.4	基于 RBF 神经网络优化 PID 控制参数 .....	203

7.4.1	RBF 神经网络对被控对象的辨识 .....	203
7.4.2	RBF 网络优化 PID 控制参数的算法实现 .....	204
7.5	基于免疫克隆优化的模糊神经控制器 .....	205
7.5.1	基本的免疫克隆算法 .....	205
7.5.2	改进的免疫克隆选择算法 .....	206
7.5.3	基于免疫克隆算法优化的模糊神经控制器设计 .....	207
7.5.4	仿真结果及结论 .....	208
	启迪思考题 .....	209
<b>第 8 章</b>	<b>智能控制的工程应用实例 .....</b>	<b>210</b>
8.1	基于神经网络推理的加热炉温度模糊控制 .....	210
8.1.1	基于神经网络推理的模糊控制 .....	210
8.1.2	模糊控制器的神经网络实现 .....	212
8.1.3	现场运行效果 .....	213
8.2	神经网络在车底炉燃烧控制中的应用 .....	214
8.2.1	燃烧控制系统的设计 .....	215
8.2.2	神经网络模型的建立 .....	216
8.2.3	神经网络的训练过程 .....	218
8.2.4	神经网络在车底炉燃烧控制中的应用实例 .....	219
8.3	专家控制在静电除尘器电源控制系统中的应用 .....	221
8.3.1	高压直流静电除尘电源控制系统 .....	222
8.3.2	专家控制系统控制器设计 .....	222
8.3.3	控制结果及其分析 .....	225
8.4	学习控制在数控凸轮轴磨床上的应用 .....	226
8.4.1	FANUC 数控系统学习控制功能 .....	226
8.4.2	学习控制的实现 .....	227
8.4.3	学习控制效果 .....	229
	启迪思考题 .....	231
	参考文献 .....	232