教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

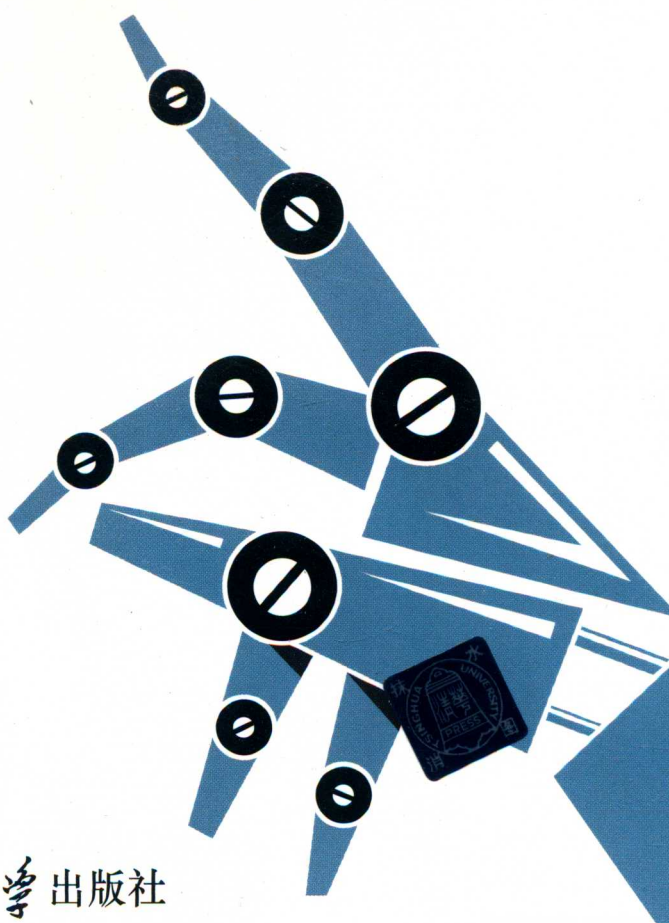
人工智能

Intelligent Control
Theoretical Basis, Algorithmic Design and Application

智能控制

理论基础、算法设计与应用

刘金琨 编著
Liu Jinkun



清華大學出版社

教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材
高等学校电子信息类专业系列教材

Intelligent Control

Theoretical Basis, Algorithmic Design and Application

智能控制

理论基础、算法设计与应用

刘金琨 编著
Liu Jinkun

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书较全面地叙述了智能控制的基本理论、方法和应用。全书共分17章，主要内容为模糊控制的基本原理和应用、神经网络控制的基本原理和应用、智能优化算法及其应用。

本书系统性强，突出理论联系实际，叙述深入浅出，适合于初学者学习。书中给出了一些智能算法的仿真实例和MATLAB仿真程序，并配有一定数量的习题和上机操作题，可作为高等院校工业自动化、计算机应用、电子工程等专业的高年级本科生和硕士研究生的教材，也适合从事工业自动化领域的工程技术人员阅读和参考。

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：理论基础、算法设计与应用/刘金琨编著. —北京：清华大学出版社，2019
高等学校电子信息类专业系列教材
ISBN 978-7-302-53112-8

Ⅰ. ①智…　Ⅱ. ①刘…　Ⅲ. ①智能控制　Ⅳ. ①TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第101132号

责任编辑：盛东亮　钟志芳
封面设计：李召霞
责任校对：梁　毅
责任印制：宋　林

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
质量反馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
课件下载：http://www.tup.com.cn，010-83470236
印 装 者：三河市宏图印务有限公司
经　　销：全国新华书店
开　　本：185mm×260mm　　**印　　张**：19.75　　**字　　数**：477千字
版　　次：2019年12月第1版　　**印　　次**：2019年12月第1次印刷
定　　价：59.00元

产品编号：083661-01

前言
PREFACE

智能控制是自动控制领域的前沿学科之一。它是一门综合性很强的多学科交叉的新兴学科，被称为自动控制理论发展的第三阶段。智能控制的发展为解决复杂的非线性、不确定系统的控制问题开辟了新的途径。

有关智能控制理论及其工程应用，近年来已有大量的论文发表。作者多年来一直从事控制理论及应用方面的教学和研究工作，为了促进智能控制和自动化技术的进步，反映智能控制设计与应用中的最新研究成果，并使广大研究人员和工程技术人员能了解、掌握和应用这一领域的最新技术，学会用 MATLAB 语言进行各种智能控制算法的分析和设计，作者编写了本书，供广大读者学习和参考。

本书共分为 17 章，第 1 章绪论，着重介绍智能控制的产生和发展以及智能控制的基本概念；第 2 章介绍模糊控制的理论基础；第 3 章介绍模糊逻辑控制的基本原理及模糊控制器的设计方法；第 4 章介绍模糊逼近的基本原理及自适应模糊控制器的设计方法；第 5 章介绍 T-S 模糊建模方法和 T-S 型模糊控制器的设计方法；第 6 章以机械手为被控对象，介绍模糊自适应控制算法的设计和分析方法；第 7 章介绍神经网络控制的理论基础；第 8 章介绍几种典型的神经网络，包括单神经元网络、BP 神经网络、RBF 神经网络和 Hopfield 神经网络；第 9 章介绍基于 RBF 神经网络的自适应控制算法和分析方法；第 10 章介绍基于 RBF 网络的输入输出受限控制设计方法；第 11 章介绍基于 RBF 神经网络的执行器自适应容错控制算法设计和分析方法；第 12 章以机械手为例，介绍神经网络自适应控制设计方法；第 13 章介绍基于 RBF 网络的反演自适应控制设计方法；第 14 章介绍基于 LMI 的神经网络自适应控制设计方法；第 15 章介绍几种智能优化算法；第 16 章介绍智能优化算法在参数辨识中的应用；第 17 章介绍基于神经网络的主辅电机的协调控制。

本书是在总结作者多年研究成果的基础上，进一步理论化、系统化、规范化、实用化而成，其特点如下：

(1) 控制算法取材新颖，内容先进，重点放在了学科交叉部分的前沿研究和介绍一些有潜力的新思想、新方法和新技术，取材着重于基本概念、基本理论和基本方法。

(2) 针对每种控制算法给出了完整的 MATLAB 仿真程序，并给出了程序的说明和仿真结果，具有很强的可读性。

(3) 着重从应用领域角度出发，突出理论联系实际，面向广大工程技术人员，具有很强的工程性和实用性。例如，书中为了介绍一些智能控制算法的设计和分析方法，以机械系统、电机、倒立摆、飞行器等为被控对象来辅助说明。

(4) 所给出的各种控制算法完整，程序设计、结构设计力求简单明了，便于自学和进一步开发。

本书是在电子工业出版社出版的北京航空航天大学本科生教材《智能控制》(第四版)的基础上改编而成的。为了适合相关专业高年级本科生和研究生的教学需要,本书的选材更加着重于基础性和实用性。为了更好地介绍智能控制理论和应用的发展,书中增加了一些新的智能控制理论和实际应用内容,主要包括 T-S 模糊控制器设计与分析、单参数模糊自适应控制、单参数神经网络自适应控制、RBF 网络输入输出受限控制、RBF 网络执行器自适应容错控制、RBF 网络反演自适应控制和基于 LMI 的神经网络自适应控制及参数辨识的智能优化算法。

由于篇幅所限,书中有些程序未列出,读者可从所提供的网站上下载。由于作者水平有限,书中难免有一些不足和疏漏之处,欢迎广大读者批评指正。

编　者

2019 年 10 月于北京航空航天大学

仿真程序使用说明

1. 所有仿真算法按章归类，下载的程序名与书中一一对应。
2. 将下载的仿真程序复制到硬盘 MATLAB 运行的路径中，便可仿真运行。
3. 本书算法在当前 MATLAB 高级版本下运行成功，并适用于其他更高级版本。



（扫码下载源程序与课件）

注：本书的示例采用英文版 MATLAB 软件仿真，所以书中仿真图形中的文字为英文，不区分物理量正体与斜体，与代码中的物理量一致。

目录

CONTENTS

第 1 章　绪论 …… 1

1.1　智能控制的发展过程 …… 1

1.1.1　智能控制的提出 …… 1

1.1.2　智能控制的概念 …… 2

1.1.3　智能控制的发展 …… 3

1.1.4　智能控制的技术基础 …… 3

1.2　智能控制的几个重要分支 …… 4

1.2.1　模糊控制 …… 4

1.2.2　神经网络控制 …… 5

1.2.3　智能搜索算法 …… 5

1.3　智能控制的特点、工具及应用 …… 6

1.3.1　智能控制的特点 …… 6

1.3.2　智能控制的研究工具 …… 6

1.3.3　智能控制的应用 …… 7

思考题 …… 7

参考文献 …… 7

第 2 章　模糊控制的理论基础 …… 9

2.1　概述 …… 9

2.2　模糊集合 …… 10

2.2.1　模糊集合 …… 10

2.2.2　模糊集合的运算 …… 12

2.3　隶属函数 …… 14

2.3.1　隶属函数的特点 …… 14

2.3.2　几种典型的隶属函数及其 MATLAB 表示 …… 14

2.3.3　模糊系统的设计 …… 17

2.3.4　隶属函数的确定方法 …… 19

2.4　模糊关系及其运算 …… 20

2.4.1　模糊关系矩阵 …… 20

2.4.2　模糊矩阵运算 …… 21

2.4.3　模糊矩阵的合成 …… 21

2.5　模糊推理 …… 23

2.5.1　模糊语句 …… 23

2.5.2 模糊推理 …… 24
思考题 …… 26
第 3 章 模糊逻辑控制 …… 27
3.1 模糊控制的基本原理 …… 27
3.1.1 模糊控制原理 …… 27
3.1.2 模糊控制器的组成 …… 28
3.1.3 模糊控制系统的工作原理 …… 29
3.1.4 模糊控制器结构 …… 35
3.2 模糊控制系统分类 …… 36
3.3 模糊控制器的设计 …… 36
3.3.1 模糊控制器的设计步骤 …… 36
3.3.2 模糊控制器的 MATLAB 仿真 …… 39
3.4 模糊控制应用实例——洗衣机的模糊控制 …… 42
3.5 模糊自适应整定 PID 控制 …… 49
3.5.1 模糊自适应整定 PID 控制原理 …… 49
3.5.2 仿真实例 …… 51
3.6 大时变扰动下切换增益模糊调节的滑模控制 …… 57
3.6.1 系统描述 …… 57
3.6.2 滑模控制器设计 …… 57
3.6.3 模糊规则设计 …… 58
3.6.4 仿真实例 …… 59
思考题 …… 62
第 4 章 自适应模糊控制 …… 64
4.1 模糊逼近 …… 64
4.1.1 模糊系统的设计 …… 64
4.1.2 模糊系统的逼近精度 …… 65
4.1.3 仿真实例 …… 65
4.2 间接自适应模糊控制 …… 70
4.2.1 问题描述 …… 70
4.2.2 自适应模糊滑模控制器设计 …… 71
4.2.3 仿真实例 …… 74
4.3 直接自适应模糊控制 …… 76
4.3.1 问题描述 …… 76
4.3.2 模糊控制器的设计 …… 77
4.3.3 自适应律的设计 …… 78
4.3.4 仿真实例 …… 80
思考题 …… 82
第 5 章 基于 T-S 模糊建模的控制 …… 83
5.1 T-S 模糊模型 …… 83
5.1.1 T-S 模糊模型的形式 …… 83
5.1.2 仿真实例 …… 83

5.1.3 一类非线性系统的 T-S 模糊建模 …… 85
5.2 T-S 型模糊控制器的设计 …… 88
5.3 倒立摆系统的 T-S 模糊模型 …… 89
5.4 基于线性矩阵不等式的单级倒立摆 T-S 模糊控制 …… 90
5.4.1 LMI 不等式的设计及分析 …… 91
5.4.2 不等式的转换 …… 93
5.4.3 LMI 设计实例 …… 93
5.4.4 基于 LMI 的倒立摆 T-S 模糊控制 …… 95
5.5 基于极点配置的单级倒立摆 T-S 模糊控制 …… 100
附加资料：新的 LMI 求解工具箱——YALMIP 工具箱 …… 102
思考题 …… 103
参考文献 …… 103
第 6 章 机械手自适应模糊控制 …… 104
6.1 简单的自适应模糊滑模控制 …… 104
6.1.1 问题描述 …… 104
6.1.2 模糊逼近原理 …… 104
6.1.3 控制算法设计与分析 …… 105
6.1.4 仿真实例 …… 106
6.2 基于模糊补偿的机械手模糊自适应滑模控制 …… 108
6.2.1 系统描述 …… 109
6.2.2 基于传统模糊补偿的控制 …… 109
6.2.3 自适应控制律的设计 …… 109
6.2.4 基于摩擦模糊逼近的模糊补偿控制 …… 110
6.2.5 仿真实例 …… 111
6.3 模糊系统逼近的最小参数学习法 …… 113
6.3.1 问题描述 …… 113
6.3.2 模糊系统最小参数逼近 …… 114
6.3.3 基于模糊系统逼近的最小参数自适应控制 …… 115
6.3.4 仿真实例 …… 116
6.4 基于模糊补偿的机械手单参数自适应控制 …… 118
6.4.1 系统描述 …… 118
6.4.2 基于模糊系统逼近的最小参数自适应控制 …… 118
6.4.3 仿真实例 …… 120
附加资料 …… 122
思考题 …… 122
参考文献 …… 122
第 7 章 神经网络理论基础 …… 123
7.1 神经网络发展简史 …… 123
7.2 神经网络原理 …… 124
7.3 神经网络的分类 …… 125
7.4 神经网络学习算法 …… 126

7.4.1 Hebb学习规则 …… 127
7.4.2 Delta(δ)学习规则 …… 127
7.5 神经网络的特征及要素 …… 128
7.5.1 神经网络特征 …… 128
7.5.2 神经网络三要素 …… 128
7.6 神经网络控制的研究领域 …… 128
思考题 …… 129
第8章 典型神经网络 …… 130
8.1 单神经元网络 …… 130
8.2 BP神经网络 …… 132
8.3 RBF神经网络 …… 133
8.3.1 网络结构 …… 133
8.3.2 控制系统设计中RBF网络的逼近 …… 134
8.4 Hopfield神经网络 …… 134
思考题 …… 136
参考文献 …… 136
第9章 自适应RBF神经网络控制 …… 137
9.1 一阶系统神经网络自适应控制 …… 137
9.1.1 系统描述 …… 137
9.1.2 滑模控制器设计 …… 137
9.1.3 仿真实例 …… 138
9.1.4 一阶系统自适应RBF控制 …… 139
9.1.5 仿真实例 …… 140
9.2 二阶系统自适应RBF神经网络控制 …… 142
9.2.1 系统描述 …… 142
9.2.2 基于RBF网络逼近 $f(x)$的滑模控制 …… 143
9.2.3 仿真实例 …… 144
9.3 基于RBF网络的单参数直接鲁棒自适应控制 …… 146
9.3.1 系统描述 …… 146
9.3.2 控制律和自适应律设计 …… 147
9.3.3 仿真实例 …… 148
思考题 …… 150
参考文献 …… 150
第10章 基于RBF网络的输入输出受限控制 …… 151
10.1 控制系统位置输出受限控制 …… 151
10.1.1 输出受限引理 …… 151
10.1.2 系统描述 …… 153
10.1.3 控制器的设计 …… 153
10.1.4 仿真实例 …… 154
10.2 基于RBF网络的状态输出受限控制 …… 156
10.2.1 系统描述 …… 156

10.2.2 RBF 网络原理 …… 156
10.2.3 控制器的设计 …… 157
10.2.4 仿真实例 …… 159
10.3 基于双曲正切的输入受限控制 …… 161
10.3.1 双曲函数及性质 …… 161
10.3.2 定理及分析 …… 162
10.3.3 基于双曲正切的输入受限控制 …… 163
10.3.4 仿真实例 …… 163
10.4 基于 RBF 网络逼近的输入受限控制 …… 165
10.4.1 系统描述 …… 165
10.4.2 RBF 神经网络逼近 …… 165
10.4.3 控制器的设计及分析 …… 165
10.4.4 仿真实例 …… 167
思考题 …… 169
参考文献 …… 169
第 11 章 基于 RBF 神经网络的执行器自适应容错控制 …… 170
11.1 执行器容错控制描述 …… 170
11.2 SISO 系统执行器自适应容错控制 …… 171
11.2.1 控制问题描述 …… 171
11.2.2 控制律的设计与分析 …… 171
11.2.3 仿真实例 …… 172
11.3 基于 RBF 网络的 SISO 系统执行器自适应容错控制 …… 173
11.3.1 控制问题描述 …… 173
11.3.2 RBF 神经网络设计 …… 174
11.3.3 控制律的设计与分析 …… 174
11.3.4 仿真实例 …… 175
11.4 MISO 系统执行器自适应容错控制 …… 176
11.4.1 控制问题描述 …… 176
11.4.2 控制律的设计与分析 …… 177
11.4.3 仿真实例 …… 178
11.5 MISO 系统执行器自适应神经网络容错控制 …… 179
11.5.1 控制问题描述 …… 179
11.5.2 RBF 神经网络设计 …… 179
11.5.3 控制律的设计与分析 …… 180
11.5.4 仿真实例 …… 181
11.6 带执行器卡死的 MISO 系统自适应容错控制 …… 182
11.6.1 控制问题描述 …… 182
11.6.2 控制律的设计与分析 …… 183
11.6.3 仿真实例 …… 184
11.7 带执行器卡死的 MISO 系统神经网络自适应容错控制 …… 186
11.7.1 控制问题描述 …… 186

11.7.2 RBF 神经网络设计 …… 186
11.7.3 控制律的设计与分析 …… 187
11.7.4 仿真实例 …… 189
附加资料 …… 190
思考题 …… 190
参考文献 …… 190
第 12 章 机械系统神经网络自适应控制 …… 191
12.1 一种简单的 RBF 网络自适应滑模控制 …… 191
12.1.1 问题描述 …… 191
12.1.2 RBF 网络原理 …… 192
12.1.3 控制算法设计与分析 …… 192
12.1.4 仿真实例 …… 193
12.2 基于 RBF 网络逼近的机械手自适应控制 …… 194
12.2.1 问题的提出 …… 194
12.2.2 基于 RBF 神经网络逼近的控制器 …… 195
12.2.3 仿真实例 …… 196
12.3 基于 RBF 网络的最小参数自适应控制 …… 198
12.3.1 问题描述 …… 198
12.3.2 基于 RBF 网络逼近的最小参数自适应控制 …… 199
12.3.3 仿真实例 …… 200
12.4 机械手神经网络单参数自适应控制 …… 201
12.4.1 问题的提出 …… 201
12.4.2 神经网络设计 …… 202
12.4.3 控制器设计 …… 203
12.4.4 仿真实例 …… 204
12.5 一类欠驱动机械系统神经网络滑模控制 …… 206
12.5.1 系统描述 …… 206
12.5.2 RBF 网络原理 …… 207
12.5.3 滑模控制律的设计 …… 207
12.5.4 收敛性分析 …… 208
12.5.5 仿真实例 …… 208
附加资料 …… 210
思考题 …… 210
参考文献 …… 211
第 13 章 基于 RBF 网络的反演自适应控制 …… 212
13.1 一种三阶非线性系统的反演控制 …… 212
13.1.1 系统描述 …… 212
13.1.2 反演控制器设计 …… 212
13.1.3 仿真实例 …… 214
13.2 基于 RBF 网络的三阶非线性系统反演控制 …… 215
13.2.1 系统描述 …… 215

13.2.2 RBF 网络原理 …… 216
13.2.3 神经网络反演控制器设计 …… 216
13.2.4 仿真实例 …… 218
思考题 …… 220
参考文献 …… 220
第 14 章 基于 LMI 的神经网络自适应控制 …… 221
14.1 基于 LMI 的控制 …… 221
14.1.1 系统描述 …… 221
14.1.2 控制器的设计与分析 …… 221
14.1.3 仿真实例 …… 222
14.2 基于 LMI 的神经网络自适应控制 …… 224
14.2.1 系统描述 …… 224
14.2.2 RBF 神经网络设计 …… 224
14.2.3 控制器的设计与分析 …… 224
14.2.4 仿真实例 …… 226
14.3 基于 LMI 的神经网络自适应跟踪控制 …… 228
14.3.1 系统描述 …… 228
14.3.2 仿真实例 …… 229
思考题 …… 231
第 15 章 智能优化算法 …… 232
15.1 遗传算法及其应用 …… 232
15.1.1 遗传算法的基本原理 …… 232
15.1.2 遗传算法的特点 …… 233
15.1.3 遗传算法的应用领域 …… 234
15.1.4 遗传算法的优化设计 …… 235
15.1.5 基于遗传算法的函数优化 …… 235
15.2 基于遗传算法的 TSP 优化 …… 240
15.2.1 TSP 的编码 …… 240
15.2.2 TSP 的遗传算法设计 …… 241
15.2.3 仿真实例 …… 242
15.3 粒子群优化算法 …… 243
15.3.1 粒子群算法基本原理 …… 244
15.3.2 算法流程 …… 245
15.3.3 基于粒子群算法的函数优化 …… 246
15.4 标准差分进化算法 …… 249
15.4.1 差分进化算法的基本流程 …… 250
15.4.2 差分进化算法的参数设置 …… 251
15.4.3 基于差分进化算法的函数优化 …… 252
15.5 基于差分进化最优轨迹规划的 PD 控制 …… 255
15.5.1 问题的提出 …… 255
15.5.2 一个简单的样条插值实例 …… 255

15.5.3 最优轨迹的设计 …… 256
15.5.4 最优轨迹的优化 …… 259
15.5.5 仿真实例 …… 260
15.6 基于 Hopfield 网络的路径优化 …… 266
15.6.1 TSP 问题 …… 266
15.6.2 求解 TSP 问题的 Hopfield 神经网络设计 …… 266
15.6.3 仿真实例 …… 268
思考题 …… 272
参考文献 …… 272
第 16 章 智能优化算法在参数辨识中的应用 …… 273
16.1 柔性机械手动力学模型参数辨识 …… 273
16.1.1 柔性机械手模型描述 …… 273
16.1.2 仿真实例 …… 274
16.2 飞行器纵向模型参数辨识 …… 276
16.2.1 问题描述 …… 276
16.2.2 仿真实例 …… 277
16.3 VTOL 飞行器参数辨识 …… 278
16.3.1 VTOL 飞行器参数辨识问题 …… 278
16.3.2 基于粒子群算法的参数辨识 …… 280
16.3.3 基于差分进化算法的 VTOL 飞行器参数辨识 …… 281
16.4 四旋翼飞行器建模与参数辨识 …… 283
16.4.1 四旋翼飞行器动力学模型 …… 283
16.4.2 动力学模型的变换 …… 284
16.4.3 参数的辨识 …… 286
16.4.4 基于粒子群算法参数辨识 …… 287
16.4.5 基于差分进化算法参数辨识 …… 288
思考题 …… 290
参考文献 …… 290
第 17 章 神经网络自适应协调控制 …… 291
17.1 主辅电机协调鲁棒控制 …… 291
17.1.1 系统描述 …… 291
17.1.2 控制律设计与分析 …… 291
17.1.3 仿真实例 …… 292
17.2 基于神经网络的主辅电机协调控制 …… 294
17.2.1 系统描述 …… 294
17.2.2 RBF 网络的设计 …… 294
17.2.3 控制律设计与分析 …… 295
17.2.4 仿真实例 …… 296
思考题 …… 298
参考文献 …… 298

第1章 绪 论

CHAPTER 1

智能控制是具有智能信息处理、智能信息反馈和智能控制决策的控制方式，是控制理论发展的高级阶段，主要用来解决那些用传统方法难以解决的复杂系统的控制问题。智能控制研究对象的主要特点是具有不确定性的数学模型、高度的非线性和复杂的任务要求。

我国是制造业大国，国家的“中国制造 2025”行动纲要的提出，使制造业需要大量具备智能化控制技术的各类人才。

1.1 智能控制的发展过程

1.1.1 智能控制的提出

传统控制方法包括经典控制和现代控制，是基于被控对象精确模型的控制方式，缺乏灵活性和应变能力，适用于解决线性、时不变性等相对简单的控制问题。传统控制方法在实际应用中遇到很多难以解决的问题，主要表现在以下几点。

(1) 实际系统由于存在复杂性、非线性、时变性、不确定性和不完全性等，无法获得精确的数学模型。

(2) 某些复杂的和包含不确定性的控制过程无法用传统的数学模型来描述，即无法解决建模问题。

(3) 针对实际系统往往需要进行一些比较苛刻的线性化假设，而这些假设往往与实际系统不符合。

(4) 实际控制任务复杂，而传统的控制任务要求低，对复杂的控制任务，如智能机器人控制、CIMS 和社会经济管理系统等复杂任务无能为力。

在生产实践中，复杂控制问题可通过熟练操作人员的经验和控制理论相结合的方法去解决，因此，产生了智能控制。智能控制采取的是全新的思路，它用人的思维方式建立逻辑模型，使用类似人脑的控制方法来进行控制。智能控制将控制理论的方法和人工智能技术灵活地结合起来，这种方法适应于对象的复杂性和不确定性。

智能控制是控制理论发展的高级阶段，它主要用来解决那些用传统控制方法难以解决的复杂系统的控制问题。智能控制研究对象具备以下一些特点。

(1) 不确定性的模型。

智能控制适合于不确定性对象的控制，其不确定性包括两层意思，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。

(2) 高度的非线性。

采用智能控制方法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。

例如，智能机器人要求控制系统对一个复杂的任务具有自行规划和决策的能力，有自动躲避障碍运动到期望目标位置的能力。再如，在复杂的工业过程控制系统中，除了要求对各被控物理量实现定值调节外，还要求能实现整个系统的自动启停、故障的自动诊断以及紧急情况下的自动处理等功能。

1.1.2 智能控制的概念

智能控制是一门交叉学科，著名美籍华人傅京逊教授于 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。美国学者 G. N. Saridis 于 1977 年在二元论基础上引入运筹学，提出了三元论的智能控制概念，即

$$IC = AC \cap AI \cap OR$$

式中，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(Operational Research)。

基于三元论的智能控制如图 1.1 所示。

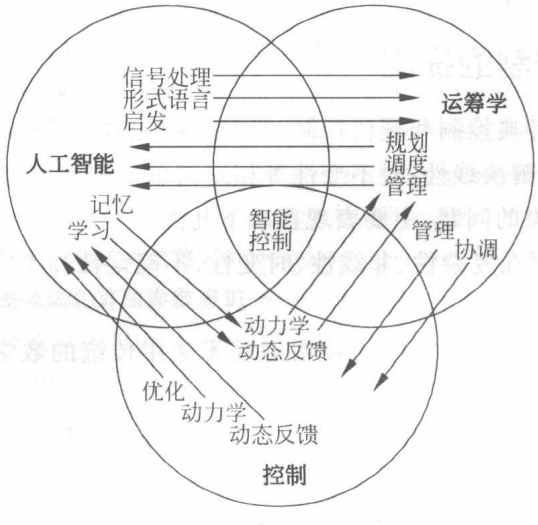


图 1.1 基于三元论的智能控制

人工智能(AI)是一个用来模拟人的思维的知识处理系统，具有记忆、学习、信息处理、形式语言和启发推理等功能。

自动控制(AC)描述系统的动力学特性，是一种动态反馈。

运筹学(OR)是一种定量优化方法，如线性规划、网络规划、调度、管理、优化决策和多目标优化方法等。

三元论除了“智能”与“控制”外，还强调了更高层次控制中调度、规划和管理的作用，为递阶智能控制提供了理论依据。

所谓智能控制，即设计一个控制器(或系统)，使之具有学习、抽象、推理和决策等功能，

并能根据环境(包括被控对象或被控过程)信息的变化做出适应性反应,从而实现由人来完成的任务。智能控制实际只是研究与模拟人类智能活动及其控制与信息传递过程的规律,研制具有仿人智能的工程控制与信息处理系统的一个新兴分支学科。

1.1.3 智能控制的发展

智能控制是自动控制发展的最新阶段,主要用于解决传统控制难以解决的复杂系统的控制问题。控制科学的发展过程如图 1.2 所示。

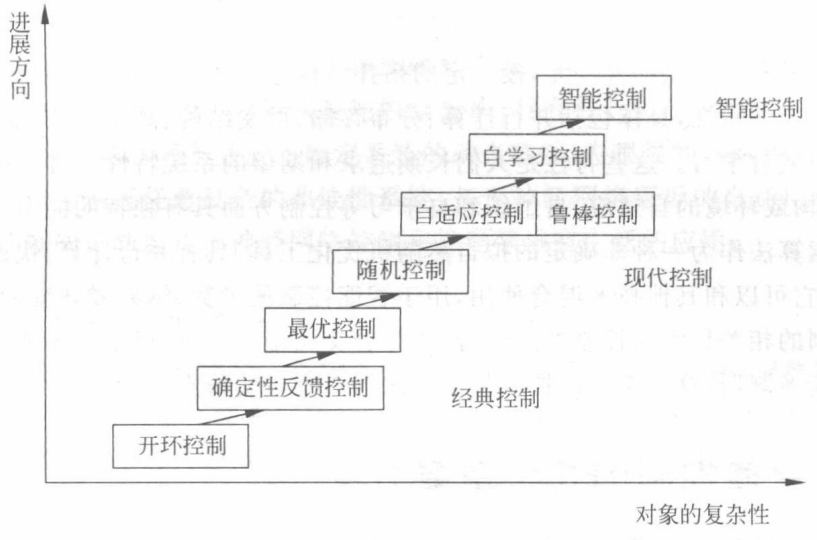


图 1.2 控制科学的发展过程

从 20 世纪 60 年代起,由于空间技术、计算机技术及人工智能技术的发展,控制界学者在研究自组织、自学习控制的基础上,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中。

1966 年,J. M. Mendal 首先提出将人工智能技术应用于飞船控制系统的设计;1971 年,傅京逊首次提出智能控制这一概念,并归纳了如下 3 种类型的智能控制系统。

(1) 人作为控制器的控制系统——具有自学习、自适应和自组织的功能。

(2) 人机结合作为控制器的控制系统——机器完成需要连续进行的并需快速计算的常规控制任务,人则完成任务分配、决策和监控等任务。

(3) 无人参与的自主控制系统——为多层的智能控制系统,需要完成问题求解和规划、环境建模、传感器信息分析和低层的反馈控制任务,如自主机器人。

1985 年 8 月,IEEE 在美国纽约召开了第一界智能控制学术讨论会,随后成立了 IEEE 智能控制专业委员会;1987 年 1 月,在美国举行第一次国际智能控制大会,标志智能控制领域的形成。

近年来,神经网络、模糊数学、专家系统和进化论等各门学科的发展给智能控制注入了巨大的活力,由此产生了各种智能控制方法。

1.1.4 智能控制的技术基础

智能控制以控制理论、计算机科学、人工智能和运筹学等学科为基础,扩展了相关的理论和技术,其中应用较多的有专家系统、模糊逻辑、神经网络和智能搜索等理论,以及自适应