

# 智能控制导论



罗公亮 秦世引

智能自动化丛书

# 智能控制导论

罗公亮 秦世引

浙江科学技术出版社

**THE SERIES OF INTELLIGENT AUTOMATION**

**AN INTRODUCTION TO  
INTELLIGENT CONTROLS**

**Luo Gongliang, Qin Shiyin**

**ZHEJIANG SCIENCE & TECHNOLOGY  
PUBLISHING HOUSE**

智能化丛书  
**智能控制导论**

罗公亮 秦世引

\*

浙江科学技术出版社出版  
浙江印刷集团公司印刷  
浙江省新华书店发行

开本:850×1168 1/32

印张:20 插页:4

字数:420 000

1997年12月第一版

1997年12月第一次印刷

**ISBN 7-5341-1075-0/TP·36**

定价:36.00元

责任编辑:徐东辉

封面设计:孙 菁

Published by Zhejiang Science and  
Technology Publishing House  
347 Tiyuchang Road, Hangzhou, China  
© 1997 by Luo Gongliang etc.  
First published in 1997  
Printed in Xinhua Printing Factory  
**ISBN 7-5341-1075-0/TP·36**

## 内 容 简 介

本书首先回顾了控制理论发展的历史,并在此基础上阐释了智能控制产生、形成和发展的历史背景,以及经典控制、现代常规控制和智能控制之间的沿革和演化轨迹,揭示了它们之间的包容嵌套关系。接着介绍了人工智能的基本思想和方法,对人工智能所取得的成就与当前所遇到的困难进行了深入的分析;介绍了模拟进化方法、人工神经网络、模糊系统等计算智能方面的基本知识,并针对大规模复杂系统的优化控制问题,对知识与复杂信息处理等方面的问题作了深入的讨论。在此基础上,本书系统地研究了智能控制系统的分析与综合问题。系统分析方面的问题包括:智能控制系统的原理与体系结构、智能控制系统的结构性质、智能控制系统的优化原理与方法等;系统综合与设计方面的问题包括:多级递阶智能控制系统的解析设计理论、符号学方法、模糊控制与神经网络控制。最后,本书讨论了智能技术在实际工程应用中的一些共性问题以及少量应用实例。本书对自动控制专业的科研、教学人员以及工程技术人员、研究生有一定的参考价值。

## ABSTRACT

Based on a review of the history of control systems theory, this book has shed light on the historical background of intelligent control in terms of its emergence and development, and brought to light the evolution from classical control theory to modern conventional control theory and finally to intelligent controls, and further reveals the nested inclusion relationship among them. Besides an introduction of the basic ideas of AI and its principal techniques for knowledge representation and processing, this book gives an in-depth discussion on the achievements that AI has attained and the difficulties it has encountered recently, some preliminary knowledge on the rapidly developing area of computational intelligence such as evolutionary computation, artificial neural networks and fuzzy systems are also introduced. Topics on knowledge and complex information processing are discussed in connection with the issues of optimization and control of large-scale complex systems. Furthermore, the book presents a systematic treatment on the problems of analysis and synthesis of intelligent control systems. The following topics are included in the system analysis aspect: the principles and architectures of intelligent control systems, the structural properties of intelligent control systems, and the principles and methods for optimization of intelligent control systems. As for system synthesis and design, the book discusses the analytical design theory of hierarchically intelligent control systems, the approach of semiosis, fuzzy control and neural network control systems. Some common problems concerning practical application of intelligent techniques are discussed in the last chapter, a few examples of practical application are also presented in this chapter. This book would be a good reference for researchers, professors, engineers and graduate students of relevant majors.

# 《智能化丛书》编委会

名誉主编 宋 健

主 编 戴汝为

编委(按姓氏笔画为序)

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 于景元 | 王 珏 | 石青云 | 冯纯伯 |
| 边肇琪 | 朱剑英 | 李国杰 | 李衍达 |
| 吴启迪 | 何新贵 | 宋国宁 | 张 侃 |
| 张 钹 | 陆汝钤 | 赵沁平 | 姜 桐 |
| 袁保宗 | 席裕庚 | 韩京清 | 路甬祥 |
| 熊范纶 | 潘云鹤 | 戴冠中 | 瞿寿德 |

# Editorial Committee

## **Honor Editor-in-Chief**

Song Jian

## **Editor-in-Chief**

Dai Ruwei

## **Members of Editorial Committee**

|               |              |
|---------------|--------------|
| Yu Jingyuan   | Wang Jue     |
| Shi Qingyun   | Feng Chunbo  |
| Bian Zhaoqi   | Zhu Jianying |
| Li Guojie     | Li Yanda     |
| Wu Qidi       | He Xingui    |
| Song Guoning  | Zhang Kan    |
| Zhang Bo      | Lu Ruqian    |
| Zhao Qiping   | Jiang Tong   |
| Yuan Baozong  | Xi Yugeng    |
| Han Jingqing  | Lu Yongxiang |
| Xiong Fanlun  | Pan Yunhe    |
| Dai Guanzhong | Qu Shoude    |



## 出版说明

---

当前我们正面临着一场信息革命,在这场革命中计算机扮演着重要的角色,而现代化通讯、人工智能与多媒体技术等科学技术的发展将对这场革命起着十分重要的推动作用。目前,科技界已有一种共识:采用人工智能原理和方法研制智能系统,以使传统的自动化走向智能自动化,是自动化学科发展的必然趋势。智能自动化受到国内外的重视,我国在这方面也已开展了许多基础及应用研究。

为了推广和交流智能自动化的研究成果,在宋健教授的关怀下,以戴汝为教授为主编,我们组织出版了这套“智能自动化丛书”。

近期内,本丛书计划针对国内外有关智能自动化的最新研究进展及我国专家学者取得的成果,在智能系统的综合集成、智能控制、人工神经网络原理及应用、智能信息处理及汉字识别等方面出版一系列内容新颖的专著。

我们希望这套丛书的出版,能为我国智能自动化的发展作出一点贡献。

**浙江科学技术出版社**

1995年4月

发展智能控制理论和技术  
提高全社会的劳动生产率

宋健

一九九〇年七月

\* 宋健同志为本书所作的题词

## 前 言

---

智能控制是当代系统与控制科学的前沿研究领域之一,是控制科学和工业自动化技术发展到一个崭新阶段的标志。智能控制的基本目标,是在非结构化、不确定性的条件下,在与控制对象有强相互作用的复杂环境中,实现过程任务(追求目标)的闭环自动控制。在复杂环境下的大范围快速自适应和自组织是智能控制系统最显著的特征。智能控制是在常规控制理论与技术基础上的进一步发展与提高,它并不是要取代传统的常规控制,而是其进一步的发展。这是一种类似于从牛顿力学到相对论与量子力学那样的包容性的进化(evolution),而不是像从托勒密的学说到哥白尼的天体理论那样的取而代之的革命(revolution)。与一般认知科学和神经生理学对自然与人体奥秘的探索和数理科学对理论的逻辑严谨性与数学优美性的追求比较起来,智能控制理论研究更多地是由社会与工程实践的迫切需求所驱动的。因此,“智能”一词在这里是一个具有工程实际意义的概念,是对系统的自动化程度、范围及控制任务复杂性的表征。

自从傅京孙(K. S. Fu)于70年代初期提出“智能

控制”的概念以来,特别是 1985 年 8 月由 Saridis 与 Meystel 等人主持、在美国 RPI 召开的第一届 IEEE 智能控制研讨会以后,智能控制理论与应用的研究在全世界范围内获得了日益蓬勃的发展。在国内,常迥院士早在 80 年代初期就提倡智能控制的研究,率先将“模式识别与智能控制”确定为一个正式的研究领域。1991 年在清华大学举行了第一次全国智能控制专家讨论会,在这次会议上发起了后来每年举行一次的全国性学术会议和每四年举行一次的“全球华人智能控制与智能自动化大会”。1995 年中国自动化学会批准成立智能自动化专业委员会,进一步推动了国内在这一领域中研究工作的开展。到目前为止,国内外在这一领域里的研究成果是多方面的,然而与实际应用的需求相比较,基础理论的研究仍然显得较为薄弱,在系统的分析、设计、验证和判定等方面尚缺乏坚实的理论基础。在国务委员、国家科委主任宋健院士的关怀下,浙江科技出版社出版了这套由中国科学院戴汝为院士主编的“智能自动化丛书”,其中列入这本《智能控制导论》,旨在对这方面国内外已经开展的主要工作作一个初步的分析总结,同时介绍有关的基础知识,当然也包括了作者自己在一些问题上的观点和研究成果。这样一本导论性著作对于促进智能控制研究的深入发展无疑是十分必要的,无论是对从事这个领域工作的科

研人员、高校有关专业的教师与研究生,还是从事应用、开发的控制工程师,相信都会有参考价值。不言而喻,对于这样一个尚在迅速发展之中的研究领域,要写好这样一本书是极其困难的。尽管作者已经竭尽全力,仍然不太可能不失偏颇地反映“百家之言”,因此作者殷切地期望同仁们能够不吝拨冗赐教。

本书共分八章。第一章作为全书的绪论,主要在回顾控制理论发展历史的基础上,阐述智能控制产生、形成和发展的历史背景,从而揭示了经典控制、现代常规控制和智能控制之间的沿革和演化轨迹,进而揭示了它们之间的包容嵌套关系。在说明了智能控制研究的现状和发展特点之后,对智能控制系统研究的方法论作了简要述评,最后提出了智能控制研究中应当重视的几个关键性问题,从而点明了后面各章节所要讨论的主要内容。

第二章和第三章分别介绍了智能控制系统分析和综合以及优化等方面所需要的基础知识。第二章着重介绍了人工智能与计算智能的基本思想与方法,在计算智能部分,重点介绍了模拟进化方法、人工神经网络和模糊系统方法的基础知识。第三章对知识表达与处理方法和复杂信息过程处理等方面的基础知识作了介绍。熟悉和掌握这两章中所介绍的知识,可为进一步研究智能控制系统打下良好的基础。

在第四章中,作者对智能控制的原理和方法作了较为深入的讨论。在对一些基本概念进行分析和定义之后,我们对普遍适用于包括人在内的复杂组织结构系统和人机结合的递阶组织结构系统的 IPDI 原理作了分析和阐述;根据控制的信息法则和限度,对多级递阶调控系统的信息过程作了深入分析;进而根据信息科学中一种方法(信息分析与综合的方法)、两个准则(功能准则和整体优化准则)的方法论原理,给出了一类智能控制系统的八元组结构模式,从而为以后的分析与综合奠定了基础。有关智能控制系统的体系结构分析问题,在当前的条件下会有多种不同的观点和见解。在本章中,作者根据傅京孙的观点将智能控制系统分为 3 种基本类型,并就相关的问题作了深入的讨论。最后,我们对智能控制系统中的反馈问题和优化准则作了简要的讨论。

到目前为止,关于智能控制系统结构性质的研究工作还比较少,其原因主要是由于智能控制系统的结构复杂性和组织形式的多样性,建立普适的结构性质分析方法有很大难度。但是,对于以有组织复杂结构为特征的智能控制系统,如果要实现大范围的快速自适应和自组织优化控制,关于结构性质的分析方面的问题是不能回避的。如果能在一定程度上搞清楚系统的(信息)结构能控性、结构能观性和整体稳定性等基

本性质,就可为系统动态过程的规划、管理和控制提供重要的前提条件。所以,在第五章中,作者专门研究了智能控制系统的结构性质。在介绍一些必要的预备知识之后,首先概述了智能控制系统能控(能观)性分析的特点和相关的问题;从研究智能推理决策机构 ID 中的能控(能观)性问题入手,通过对 ID 支配下的结构能控(能观)性分析的讨论,最后实现了智能控制系统的整体结构能控(能观)性分析,建立了一系列的分析判据。本章还专辟一节讨论智能控制系统的经济结构综合问题。众所周知,智能控制系统的稳定性分析是一个十分重要的研究方向,限于目前的研究水平,本章只讨论了稳定性分析方面的两个分支的内容。相信随着智能控制系统研究工作的逐步深入,这方面的内容一定会丰富起来。第五章的最后一节研究了智能控制系统的自主性问题。

第六章主要研究了智能控制系统的优化原理和方法。如果单从智能优化的方法上考虑,自组织、仿生和拟物理过程等方法颇具诱惑力的。但是对于以有组织复杂结构和目标的多样性为特征的智能控制系统而言,除了充分发挥各种智能优化方法的作用之外,从定性到定量的综合集成方法是实现智能控制系统整体优化的根本方法。本章首先讨论了从综合集成到整体优化的有关问题,继而系统化地研究了在智能控制系统

优化中具有重要理论意义和实用价值的熵优化原理和方法;在此基础上,以广义综合信息熵为测度研究了智能控制系统的整体优化方法,给出了可评价系统整体优化性质的组织水平函数指标和保优性指标;进而通过研究智能控制系统的信息组织机理,揭示出智能行为来自系统的智能推理决策机构 ID 中的综合集成,从而给出了刻画智能控制系统中动态行为过程的两个基本信息定律,使知识的阈值概念有了分析的基础。本章的最后一节研究了基于知识和计算智能技术的智能优化方法。

第七章的内容是智能控制系统的综合与设计,包括多级递阶智能控制系统的解析设计理论、认知或符号控制、模糊控制与神经网络控制 3 个部分。Saridis 所提出的多级递阶智能控制系统解析设计理论,是力图使智能控制系统的综合设计形式化而作的最早的努力,曾产生过较大的影响。这一理论实际上是建立了一种设计智能控制系统的模型框架,而具体的实现方法可以是多样化的。组织级的模型实质上就是一种以熵作为估价函数的启发式随机搜索算法,这与传统人工智能中求解问题的启发式搜索的基本思想是一致的。不过在 Saridis 的模型中,知识是以概率分布的形式表达的,从而避免了类似于 Shaky 那样的系统在建立符号表达的世界模型方面的困难。于是启发式搜索就不



再是符号推理,而是一种学习过程,这一点使它很容易与神经网络方法接轨,将组织级的设计问题转化成神经网络的训练问题。协调级的模型是一种基于形式语言的符号翻译系统,可以用多种方法实现,本书中所介绍的 Petri 网络方法只是其中的一种。Meystel 指出, Saridis 与 Graham 的协调级模型是将形式语言的符号体系应用于控制系统方面最早的工作。近年来,由 Pospelov, Albus 与 Meystel 等人倡导的符号学方法 (semiosis) 受到国际智能控制界的关注。在这一方法中,系统分层递阶的思想与 Saridis 的理论是一致的,同时又进一步发展了嵌套递阶的思想;而 Saridis 提出的 IPDI 原理则在符号学中体现为更深刻的基于分辨率的设计方法。符号学方法更侧重于多种不同模型与方法的综合集成,是一种更接近工程实践的系统化设计方法。本章最后介绍模糊控制及其与神经网络方法的融合。在 70 年代即已获得不少实际应用的基本模糊控制系统 (Mamdani 控制器),由于在知识获取方面遇到了与专家系统同样的困难,应用范围是十分有限的。80 年代以后在日本发展起来的 Sugeno 控制器,由于允许使用多种不同的知识获取方式,大大扩展了其应用范围。更重要的是, Sugeno 控制器能以较简单的控制器结构实现相当复杂的功能。因此,一方面,对控制系统的稳定性、鲁棒性等容易进行分析;另一方面,由