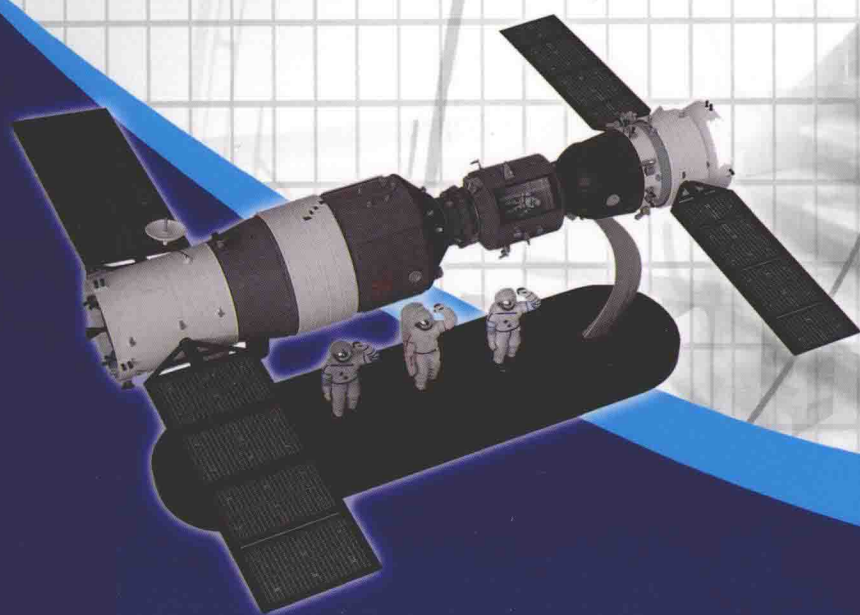


智能控制理论及应用

ZHINENG KONGZHI LILUN JI YINGYONG

董海鹰 编著



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

系歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

智能控制理论及应用

董海鷹 编著

新裝(91)日出版

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

海鷹歸海鷹著，詳見書內]

010) 海鷹歸海鷹著，詳見書內]

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书详细论述了智能控制的基本概念、原理、实现方法及其应用。主要内容包括:专家控制系统的结构、原理,以及一些主要控制方式;模糊控制系统的组成、原理,以及一些典型的模糊控制设计和分析方法;基于神经网络的系统辨识方法,神经网络控制的原理,以及一些典型的神经网络的控制类型,深度学习;遗传算法在智能控制中的应用;多 Agent 技术在监控系统中的应用方法。

本书适合作为高等院校控制科学与工程及其相关专业大学本科及研究生教材,也可以供相关专业的科研人员、工程技术人员自学和参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能控制理论及应用/董海鹰编著. —北京:
中国铁道出版社, 2016. 9

ISBN 978 - 7 - 113 - 22371 - 7

I. ①智… II. ①董… III. ①智能控制 IV.

①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 226645 号

书 名: 智能控制理论及应用
作 者: 董海鹰 编著

策 划: 李小军
责任编辑: 曾露平
封面设计: 路 瑶
封面制作: 白 雪
责任校对: 汤淑梅
责任印制: 郭向伟

读者热线: (010) 63550836

出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市西城区右安门西街8号)

网 址: <http://www.51eds.com>

印 刷: 北京尚品荣华印刷有限公司

版 次: 2016年9月第1版 2016年9月第1次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 15.75 字数: 372千

书 号: ISBN 978 - 7 - 113 - 22371 - 7

定 价: 34.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社教材图书营销部联系调换。电话: (010) 63550836

打击盗版举报电话: (010) 51873659

前 言

智能控制是一门交叉学科,融合了人工智能、自动控制、生物神经、运筹学、计算机、信息处理和认知科学等多种学科知识。它是当代科学技术中一个十分活跃和非常具有挑战性的领域,具有极其广泛的应用前景。

本书从控制系统的建模、控制与优化的要求出发,系统论述智能控制的基本概念、理论基础、实现的技术方法及其应用。全书共分6章,第1章着重论述智能控制的产生背景、特点、基本定义,以及研究对象和研究内容;第2章论述专家控制系统的结构、原理,以及一些主要控制方式;第3章在介绍模糊数学的基本知识基础上,论述模糊控制系统的组成、基本原理、设计方法,并介绍了变论域模糊控制、模糊自适应控制、预测型模糊控制、模糊PID控制等一些典型的模糊控制类型,最后对模糊控制系统的稳定性进行了分析;第4章首先介绍了神经网络的几种典型类型和学习算法,然后介绍基于神经网络的系统辨识方法,接着着重论述神经网络控制的原理、工作方式,包括基于PID神经网络的控制、基于神经PID的控制、基于CMAC的控制、基于神经网络的内模控制和模型参考自适应控制,以及预测控制,最后论述深度学习及其应用;第5章论述遗传算法在智能控制中的应用,包括基于遗传算法的系统辨识、模糊控制器参数综合优化、神经网络控制器权值优化;第6章介绍了多Agent系统的基本结构、概念和原理,着重论述多Agent技术在监控系统中的应用方法。

本书的内容中包含了作者近年来的研究成果,在编写过程中,参考了智能控制研究领域的一些著名专家学者的研究成果,他们的研究成果丰富了本书的内容,他们是蔡自兴、李人厚、张化光、孙增圻、佟绍成、王立新、王永骥、王耀南、徐丽娜、李少远、师黎、韦巍等教授,在此向他们表示诚挚的谢意。

本书的出版得到了国家自然科学基金的资助(61165006),在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,缺点和疏漏在所难免,敬请各位专家和广大读者批评指正,编者不胜感激!

编 者
2016年2月

目 录

122	4.4 PID神经网络控制	4.4
160	4.5 神经网络控制	4.5
262	4.6 小脑模型神经网络控制	4.6
170	4.7 基于神经网络的神经网络控制	4.7
173	4.8 基于神经网络的神经网络控制	4.8
173	4.9 基于神经网络的神经网络控制	4.9
173	4.10 本章小结	4.10
173	习题	173
173	第1章 绪 论	1
173	1.1 控制科学发展的历史	1
173	1.2 智能控制产生的背景	2
173	1.3 智能控制的基本概念和研究内容	3
173	1.4 本书的主要内容	7
173	本章小结	8
173	习题	8
173	第2章 专家控制	9
173	2.1 专家系统	9
173	2.2 知识表示与推理	14
173	2.3 专家控制系统	24
173	2.4 自学习专家控制系统	34
173	2.5 基于粗糙集的专家控制系统	38
173	2.6 专家控制系统示例	40
173	本章小结	46
173	习题	47
173	第3章 模糊控制	48
173	3.1 模糊控制的基本概念	48
173	3.2 模糊集合与模糊关系	50
173	3.3 模糊关系与模糊推理	57
173	3.4 模糊控制系统的结构	67
173	3.5 模糊控制系统的设计	71
173	3.6 模糊控制系统的稳定性分析	112
173	本章小结	117
173	习题	117
173	第4章 神经网络控制	119
173	4.1 神经网络的基本概念	119
173	4.2 神经网络结构类型及其学习算法	124
173	4.3 基于神经网络的系统辨识	145

4.4	PID 神经网络控制	155
4.5	神经 PID 控制	160
4.6	小脑模型神经网络控制	165
4.7	基于神经网络的内模控制	170
4.8	基于神经网络的模型参考自适应控制	173
4.9	基于神经网络的预测控制	176
4.10	深度学习	179
	本章小结	193
	习题	193
第 5 章	遗传算法与智能控制	195
5.1	遗传算法的基本原理	195
5.2	基于遗传算法的系统辨识	203
5.3	基于遗传算法的 PID 参数优化	209
5.4	基于遗传算法的模糊控制器参数优化	213
5.5	基于遗传算法的神经网络控制器优化	224
	本章小结	226
	习题	226
第 6 章	基于多 Agent 的智能控制	228
6.1	Agent 及多 Agent	228
6.2	多 Agent 的通信	232
6.3	基于多 Agent 的变电站故障诊断	233
6.4	基于多 Agent 的列车运行智能控制	238
6.5	基于多 Agent 的水箱液位控制	241
	本章小结	242
	习题	242
	参考文献	243

第1章 绪论

主要内容

- 控制科学发展的历史
- 智能控制产生的背景
- 智能控制的基本概念和研究内容
- 本书的主要内容

智能控制的概念和原理主要是针对被控对象及其环境、控制目标和任务的复杂性而提出的。本章首先对控制科学的发展历史做了简单的回顾,然后简述了智能控制产生的背景,以及智能控制的基本概念和研究内容。

1.1 控制科学发展的历史

控制科学与工程学科的产生与发展主要由人类社会的生产发展需求和人类当时的技术和知识水平决定。当前,控制理论已渗透到几乎所有工程技术领域,控制科学在技术进步中起着十分重要的作用,已经成为衡量社会文明的重要标志之一。

控制理论发展的历史可追溯到18世纪中叶英国的第一次技术革命。1765年,瓦特(Jams Wate, 1736—1819年)发明了蒸汽机,进而应用离心式飞锤调速器原理控制蒸汽机,标志着人类以蒸汽机为动力的机械化时代的开始。后来,工程界用自动控制理论讨论调速系统的稳定性问题。1868年发表的“关于调节器”一文中指出,控制系统的品质可用微分方程来描述,系统的稳定性可用特征方程根的位置和形式来研究。1872年劳斯(E. J. Routh, 1831—1907年)和1890年赫尔维茨(Hurwitz)先后找到了系统稳定性的代数判据,即系统特征方程根具有负实部的充分必要条件。1892年俄国学者李亚普诺夫(Lyapunov, 1857—1918年)发表了《论运动稳定性的一般问题》的博士论文,提出了用适当的能量函数——李亚普诺夫函数的正定性及其导数的负定性来鉴别系统的稳定性准则,从而总结和发展了系统的经典时域分析法。随着通信及信息处理技术的迅速发展,电气工程师们发展了以实验为基础的频率响应分析法,1932年美国贝尔实验室工程师奈奎斯特发表了反馈放大器稳定性的著名论文,给出了系统稳定性的奈奎斯特判据。后来,苏联学者米哈依洛夫又把奈奎斯特判据推广到条件稳定和开环不稳定系统的一般情况。

在第二次世界大战期间,由于军事上的需要,雷达及火力控制系统有了较大发展,频率法被推广到离散系统、随机过程和非线性系统中。美国著名的控制论创始人维纳(N. Wiener, 1894—1964年)系统地总结了前人的成果,1948年发表了“控制论——或关于在动物和机器中控制和通信的科学”著作,书中论述了控制理论的一般方法,推广了反馈的概念,为控制理

论这门学科的产生奠定了基础。

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,形成了比较完善的理论体系。进入 60 年代以来,因为人类探索空间的需要及计算机的飞速发展和应用普及推动了以多变量控制为特征的现代控制理论的发展。

20 世纪 60~70 年代,称为“现代控制理论”时期。这个时期,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微分方程可转化为一阶微分方程组,用以描述系统的动态过程,即所谓状态空间法。这种方法可以解决多输入多输出问题。系统既可以是线性的、定常的,也可以是非线性的、时变的。这一时期的主要代表人物有庞特里亚金、贝尔曼(Bellman)及卡尔曼(R. E. Kalman)等人。庞特里亚金于 1961 年发表了极大值原理;贝尔曼在 1957 年提出了动态规划;1959 年,卡尔曼和布西发表了关于线性滤波器和估计器的论文,即所谓著名的卡尔曼滤波。20 世纪 70 年代初,瑞典的奥斯特隆姆和法国的朗道教授在自适应控制理论和应用方面做出了贡献。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。

20 世纪 70 年代末,控制理论向着“大系统理论”和“智能控制”发展,前者是控制理论在广度上的开拓,后者是控制理论在深度上的挖掘。“大系统理论”是用控制和信息的观点,研究各种大系统的结构方案、总体设计中的分解方法等的技术基础理论。而“智能控制”方式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,研制具有某些仿人智能的工程控制与信息处理系统。

但是,应该看到,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 年代以来的近 40 年中,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,它对精确数学模型的依赖性,使其应用受到很大的限制,从而面临着严峻的挑战。

1.2 智能控制产生的背景

随着研究对象和控制目标越来越复杂,借助于精确数学模型描述和分析的传统控制理论难以解决复杂系统的控制问题。然而,我们也看到,在生产实践中,许多复杂的生产过程难以实现的目标控制,可通过熟练的操作工、技术人员或专家的操作获得满意的控制品质。那么如何有效地将熟练的操作工、技术人员或专家的经验知识和控制理论结合起来去解决复杂系统的控制问题就是智能控制原理研究的目标所在。而智能控制方式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,研制具有某些仿人智能的工程控制与信息处理系统。

智能控制的概念和原理主要是针对具有被控对象及其环境、控制目标和任务的复杂性特征的复杂系统而提出的,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,这种描述经常是不确定的。实际上,控制任务和目标有多重性和时变性,一个复杂任务的确定,需要多次反复,而且还包括任务所含信息的处理过程,即任务集合的处理。

面对具有复杂对象、复杂环境和复杂任务的控制系统,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精确的数学模型之上的。在建立精确数学模型过程中,往往进行了一定的简化,导致了某些信息的丢失。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:智能自主移动机器人、计算机集成制造系统、智能交通系统等。所有这些系统用传统的数学语言去分析和设计就无能为力。因此,必须寻求新的描述方法。

(2)虽然一些现代控制理论也能对付控制对象的不确定性和复杂性,但都是局限在一定的约束范围内。如自适应控制适合于系统参数在一定范围内的慢变化情况,鲁棒(Robust)控制区域是很有限的。

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,这就促使人们提供新的控制技术和方法。

(3)在传统的控制系统中,给定的信息和传感器采集的信息比较单一,而现代的复杂系统要以各种形式——视觉的、听觉的、触觉的、接近觉的,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、分析和推理。它要随环境和条件的变化,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、自学习和自组织功能,因而需要新一代的控制理论和技术来支持。

人们从改造大自然的过程中,认识到人类具有很强的学习和适应周围环境的能力。对有些复杂的系统,凭人的直觉和经验就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论和方法,形成了智能控制产生的背景。而为了进一步克服传统控制理论的局限性产生了模拟人类思维和方法的智能控制。

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,所以能在广泛的领域中获得应用。

1.3 智能控制的基本概念和研究内容

1.3.1 智能和智能控制的定义

智能和智能控制至今尚无一个公认的统一定义。许多学者,都是从不同的角度,强调某

以执行各种拟人任务 (anthropomorphic tasks) 的机器。或者比较通俗地说,智能机器是那些能够自主地代替人类从事危险、厌烦、远距离或高精度等作业的机器。例如,能够从事这类工作的机器人,就属于智能机器人。

智能控制是驱动智能机器自主地实现其目标的过程。或者说,智能控制是一类无须人的干预就能够独立地驱动智能机器实现其目标的自动控制。

智能控制就是应用人工智能的理论和技術,以及运筹学的方法,并将其同控制理论方法与技術相结合,在未知环境下,仿效人的智能,实现对系统的控制。

智能控制是一种计算上的有效过程,它在非完整的指标下,通过最基本的操作,即归纳、集注和组合搜索,把表达不完善、不确定的复杂系统引向规定的目标。

智能控制是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。

1.3.2 智能控制的学科体系和特点

智能控制具有明显的跨学科结构特点,建立合理的学科结构体系有助于对智能控制的认识和研究。1966年,J. M. Mendel 首先提出了将人工智能用于飞船控制系统的设计中,1971年,著名学者傅京生 (King-Sun 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,从发展学习控制的角度首次提出“智能控制”这个概念。他以“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,也就是智能控制的二元交集结构。

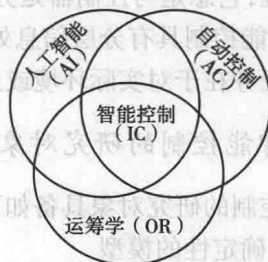
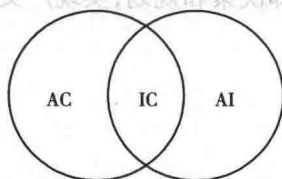
$$IC = AC \cap AI \quad (1-1)$$

可以用图 1-1 形象地表示这种交叉关系。

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 等人从机器智能的角度出发,对傅京生的二元交集论进行了扩展,引入了运筹学 (OR) 并以其作为另外一个集合,提出如图 1-2 所示的三元交集结构的智能控制概念,即

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



在图 1-2 中的三元交集除“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。这也为他们所创导的递阶智能控制结构和理论提供依据。

图 1-3(a) 是由蔡自兴教授提出的四元智能控制交集结构,把智能控制看作自动控制、人工智能、信息论 (IN) 和运筹学四个学科的交集,其关系如式 (1-3)。

智能控制理论及应用 IC = AI ∩ AC ∩ OR ∩ IN (1-3)

图 1-3(b) 表示这种四元结构的简化图。

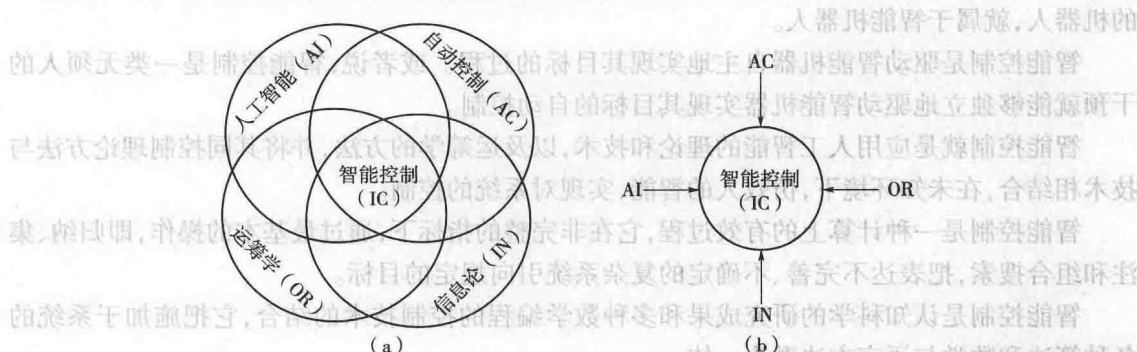


图 1-3 四元智能控制结构

智能控制与传统的或常规的控制有着密切的关系,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以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是:

(1) 描述系统的模型意义更为广泛,不仅有确定性的数学模型,也有非数学的广义模型,也可以是二者的混合模型。

(2) 智能控制过程中,采用开闭环控制和定性及定量控制结合的多模态控制方式,体现更多的是学习、推理,以启发式策略和智能算法来引导求解过程,具有学习、自适应、自修复、判断决策和组织功能。

(3) 智能控制能够满足复杂系统的控制,也就是它能够处理所面对的复杂的对象、复杂环境和复杂任务要求。

(4) 智能控制器具有非线性和变结构的特点。

(5) 在智能控制中控制器与对象、环境往往没有明显的分离,而在传统的控制中,被控对象称为过程,它总是与控制器是分离的。

(6) 智能控制具有分层信息处理与决策机构,它的核心在高层控制,即组织级的控制。高层控制的任务在于对实际环境或过程进行组织,即决策和规划,实现广义的问题求解。

1.3.3 智能控制的研究对象

智能控制的研究对象具备如下一些特点:

(1) 不确定性的模型

智能控制的对象模型往往是未知或知之甚少,模型结构和参数可能在很大范围内变化。

(2) 高度的非线性

智能控制不仅可以解决传统控制理论能解决的问题,而且可以很好地解决非线性系统的控制问题。

(3) 复杂的信息模式

智能控制系统不仅要考虑电量、机械量等物理量,还要考虑视觉、听觉、触觉信号,包括图

形、文字、语言、声音等信息。

(4) 复杂的任务要求

传统的控制要么是恒值控制,要么是随动控制,而智能控制系统对任务的要求比较复杂,往往是多目标、多形式信息表现的综合。

1.3.4 智能控制的主要形式和主要研究内容

智能控制一方面是模拟人类的专家控制经验进行控制,另一方面是模拟人类的学习能力进行控制。因此,智能控制主要有专家控制、模糊控制、神经网络控制、集成智能控制和混合智能控制等。

根据智能控制的基本控制对象所具有的特点,智能控制的基本研究内容包括以下几个方面。

- (1) 对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,多个层次上系统模型的结构表达,学习、自适应和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,对不确定性系统的辨识、建模和控制。
- (4) 实时专家控制系统的技术方法。
- (5) 控制系统的结构性质分析和稳定性分析方法。
- (6) 基于模糊逻辑和神经网络以及软计算的智能控制方法与技术。
- (7) 集成智能控制的理论与方法。
- (8) 基于多 Agent 的智能控制方法。
- (9) 智能控制在工业过程和机器人等领域的应用研究。

1.4 本书的主要内容

本书从控制科学与工程学科的本质要求出发,系统地阐述了专家控制技术、模糊逻辑、神经网络、遗传算法和多 Agent 理论对自动化系统的建模、控制和优化作用。作为控制理论、技术和方法的高级阶段,本书着重反映基于智能信息处理的理论、技术和方法在解决复杂系统的控制问题时所体现的方法和意义。本书包括以下内容:

- (1) 介绍智能控制产生的背景、起源和发展,以及智能控制的概念和研究内容。
- (2) 阐述了专家控制的概念和结构,以及相应的技术和方法。
- (3) 在模糊逻辑的基础上,阐述了模糊控制的理论基础、技术和方法。
- (4) 在神经网络的基础上,阐述了神经网络辨识方法,以及神经网络控制的类型和结构、技术和典型方法。
- (5) 阐述了遗传算法在智能控制中的应用,着重介绍了基于遗传算法的系统辨识,以及基于遗传算法的模糊控制器和神经网络控制器的优化方法。
- (6) 简介了多 Agent 系统的概念、结构及特点,着重介绍了多 Agent 系统在监控中的应用方法。

本章小结

紫雲峰山來勢險峻升拔盤旋隨巖錯愕而，峰巒屹調景公靈，峰峰回景公靈峰峰回景公靈

本章首先介绍了控制学科的发展历史,在此基础上介绍了智能控制产生的背景、智能控制的基本概念、特点、结构理论和研究对象,最后简要介绍了本书的主要内容。

习 题

习 题

晉合鼎味哺孕消晉郊駁，哺孕隆岡益軒，哺孕隆財，哺孕來寸育嬰主哺孕諸醫，執因。哺孕行世

1. 自动化科学与技术学科存在什么机遇与挑战?为什么要提出智能控制?

2. 说明人工智能对自动控制的影响。

3. 什么是智能、机器智能和智能机器?

第2章 专家控制

主要内容

- 专家系统的结构及特点
- 专家控制系统的知识表示与推理
- 专家控制系统的控制要求、结构和类型
- 自学习专家控制系统
- 基于粗糙集的专家控制系统
- 专家控制系统示例

专家控制是智能控制的一个重要分支,是专家系统中的重要一员,它具有分析、诊断、控制、调试和预测等多种功能。

专家控制的实质是使系统的构造和运行方式都基于控制对象和控制规律的各种专家知识,而且要以智能控制的方式利用这些知识,使得受控系统尽可能地优化和实用化。因此,专家控制又称基于知识的控制或专家智能控制。专家控制既可以包括高层控制,如决策与规划,也可涉及低层控制,如动作与实现。

专家控制目前尚未形成系统的理论体系。本章主要介绍专家控制系统知识的表示,专家控制的基本思想,典型实例的工作原理。

2.1 专家系统

2.1.1 专家控制的由来

传统的自动控制学科从古典控制理论发展到现代控制理论,并出现了自适应控制等高级的控制技术,取得了巨大的进展。这些进展主要源于数学分析和数值计算两方面的理论和技术。

然而,我们可以看到,传统控制系统的结构基本没有改变,仍然是机器单独作用的反馈控制。在设定值确定之后,系统的运行排斥了人的干预,人-机之间缺乏交互。系统的性能是离线监控的。如果出现故障,只能停机,进行离线处理。更值得注意的是,传统控制系统的机制基本上也没有改变,仍然是单纯地执行各种控制规律算法。系统对于控制对象在环境中的参数、结构的变化缺乏应变能力,对于控制器的参数、结构缺乏合理的调整方法。

传统控制理论的不足,在于它必须依赖于受控对象或过程的严格的数学模型,试图针对精确模型来求取最优的控制效果。而实际的受控对象或过程存在着许多难以建模的因素。完善的模型一般都难以解析表示,模型过于简单化往往又不足以解决实际问题。

20世纪80年代初,正当人工智能中的专家系统技术方兴未艾之时,自动控制领域的学者

和工程师开始把专家系统的思想和方法引入控制系统的研究及其工程应用。专家系统是一种基于知识的系统,它主要面临的是各种非结构化问题,尤其能处理定性的、启发式或不确定的知识信息,经过各种推理过程达到系统的任务目标。专家技术的特点为解决传统控制理论的局限性提供了重要的启示,二者的结合完成了专家控制这种新颖的控制系统设计和实现方法。

2.1.2 专家系统的结构及特点

从本质上讲,专家系统是一种包含知识和推理的人工智能的计算机程序系统,这些程序软件具有相当于某个专门领域的专家的知识 and 经验水平,同时具有处理该领域的问题的能力。专家系统所要解决的问题一般没有基本算法,并且通常要在不精确、或不确定、或不完全的信息条件下进行推理,最终得出结论。专家系统是应用人工智能技术和计算机技术,进行推理和判断,进而模拟人类专家解决问题和进行决策,它的独到之处便是能求解那些只有人类专家才能解决的高难度复杂问题。

自从 1977 年 Feigenbaum 在第 5 届国际人工智能大会上提出“知识工程”的概念以来,知识获取、知识表示和知识利用等技术逐渐形成人工智能研究的一大分支。Feigenbaum 认为,人的智能活动,包括理解、解决问题的能力,甚至学习能力,都完全依靠知识。特定知识的处理和运用是智能行为的中心问题。基于知识推理的专家系统,作为知识工程的研究范例,已经开创了人工智能中活跃而且富有成效的应用领域。目前,专家系统的开发不但早已走出了实验室,而且成为软件产业的一个新分支——知识产业。知识工程的理论、技术和方法,与其他人工智能的研究成果一样,对智能控制的形成和发展提供了重要的借鉴。

1. 专家系统的基本组成

专家系统的结构是指专家系统各个组成部分的构造结构方法和组织形式。图 2-1 表示专家系统的简化结构图。在实际使用的各个不同专家系统中,由于不同的应用领域和应用目标,往往需要采用不同的系统结构。可根据具体的情况,在系统的简化结构图上,进行相应的调整;或简化、或细化、或删除、或增加某些部分。专家系统的基本组成包括下述几个主要组成部分:

(1) 知识库

知识库存放着作为专家经验的判断性知识,如表达建议、推断、命令、策略的产生式规则等,用于某种结论的推理、问题的求解,以及对于推理、求解知识的各种控制知识。知识库中还包括另一类叙述性知识,又称数据,用于说明问题的状态,有关的事实和概念,当前的条件以及常识等。



图 2-1 专家系统结构

完整的知识库还应包括具有管理功能的软件系统,主要用于对知识条目的查询、检索、增删、修改、扩充等操作。

知识库通过“知识获取”机构与领域专家相联系,形成了专家系统与领域专家的人-机接口。知识获取的过程即为建立和更新知识库、并完成对知识条目的测试和精炼的过程。知识获取的手段可以采用“专题面谈”“口语记录分析”等人工移植的方法,也可以采用机器学习的方法。

(2)全局数据库

全局数据库又称综合数据库或称数据库,它是问题求解过程中符号或数据的集合,又称工作存储器。它用于存储求解问题所需的原始数据和推理过程中得到的中间信息(数据),包括原始信息、推理的中间假设和中间结论、推理过程的信息等,因此数据库中的事实可以而且也是在经常变化的。在描述数据库的结构时,常会用到黑板这一概念。黑板是沟通系统中各个部件的全局工作区。它以全局性的数据结构形式,组织问题,求解数据,处理知识源之间的通信,黑板模型可以分为若干个信息层,每一层用于描述问题的某一类信息。各个信息层之间形成一个松散的层次结构,高一层的黑板可以近似地看成是下一级若干个黑板元素的抽象。根据需要黑板还可以划分为一系列子黑板。在某些系统中数据库就是黑板,其意义是强调了它用来记录推理过程中用到的控制信息、中间假设和中间结果。有些系统中黑板是数据库的一部分,有些系统中将黑板独立于数据库之外。在一些简单的系统中,经常省略黑板。

(3)推理机

推理机实际上是一个运用知识库中提供的两类知识,基于某种通用问题求解模型,进行自动推理、求解问题的计算机软件系统。它主要由执行器、调度器和一致性协调器等组成,解释器用于决定如何使用判断性知识推导新的知识,调度器用于决定判断性知识的使用次序,一致性协调器的主要作用是当得到新数据或新假设时,对已得到的相关结果进行修正,以保证结果的前后一致性。推理机的具体构造取决于问题领域的特点及专家系统中知识表示和组织的方法。

推理机的运行可以根据不同的控制策略:从原始条件和已知条件推断出结论的方法称为正向推理或数据驱动策略;先提出结论或假设,然后寻找支持这个结论或假设的条件或证据,如若成功则结论成立,否则,再重新假设,这种方法称为反向推理或目的驱动策略;运用正向推理帮助系统提出假设,再运用反向推理寻找证据,这种方法即为双向推理或混合控制。

(4)解释机构

解释机构负责对求解过程做出说明和解释,回答用户的提问,并使用户了解推理过程及其所运用的知识和数据。解释机构在工作中通常要用到知识库中的知识、数据库推理过程的中间结果、中间假设和记录等。专家系统的透明性主要取决于解释机构的性能。解释机构已成为故障诊断、生产操作指导等实时专家系统的重要输出通道。

(5)知识获取机构

知识获取机构负责建立、修改与扩充知识库,以及对知识库的一致性、完整性等进行维护。知识获取机构具有知识变换手段,能够把与专家对话的内容变换成知识库的内部知识,可以进行修改知识库中原有的知识,增加新的知识。知识库中的知识可以通过“人工移植”和机器学习的方法获得。所谓“人工移植”即专家系统的设计者通过与专家交谈将专家的知识分析推