



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

智能控制 及其在林业工程中的应用

王克奇 白雪冰 孙丽萍 / 编著

中国林业出版社



前言

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

智能控制 及其在林业工程中的应用

王克奇 白雪冰 孙丽萍 编著

中国林业出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了典型智能控制方法的基本概念、系统结构、工作原理、实现方法及其在林业工程中的应用。主要内容包括:模糊集合论、模糊控制系统的组成方法及其工作原理;专家系统的知识获取与表示、自动推理机制,专家智能控制系统的类型和工作原理;神经网络及神经网络控制系统的类型及其工作原理;仿人控制的原理和结构、仿人控制的特征状态模式及其辨识和控制模态问题、仿人控制器的设计方法及实际应用;遗传算法的优化原理及其在控制中的应用;智能控制方法在林业工程中的应用。

本书注重理论与实践相结合,书中加入了本书作者以及他人的研究成果,对工程应用有一定的参考价值。

本书可作为高等院校自动控制类专业本科生和研究生的教材,也可供相关领域的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能控制及其在林业工程中的应用/王克奇,白雪冰,孙丽萍编著. —北京:中国林业出版社, 2013.7

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-5038-7103-0

I. ①智… II. ①王…②白…③孙… III. ①林业生产-智能控制-高等学校-教材 IV. ①S7-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 150529 号

中国林业出版社·教材出版中心

责任编辑:张东晓 牛玉莲

电话:83221489

传真:83220109

出版发行 中国林业出版社(100009 北京市西城区德内大街刘海胡同7号)

E-mail: jiaocai@public@163.com 电话:(010) 83224477

http://lycb.forestry.gov.cn

经 销 新华书店
印 刷 北京市昌平百善印刷厂
版 次 2013年7月第1版
印 次 2013年7月第1次印刷
开 本 850mm×1168mm 1/16
印 张 15.25
字 数 349千字
定 价 38.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

本书为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

智能控制是在传统控制理论基础之上,结合人工智能、运筹学、系统论、信息论等理论发展起来的一门交叉学科。随着科学技术的进步,实际工程规模越来越大、复杂性越来越高,这对控制系统提出了更高的要求。而传统控制理论在处理系统的复杂性、测量的准确性和不确定性方面显得无能为力。二十多年来,以模糊控制、神经网络控制、专家控制、学习控制、仿人控制、遗传优化控制为代表的智能控制理论取得了长足的进步,并在实际工程中获得了成功的应用,显示出智能控制理论技术广阔的发展空间和应用前景。因此,许多高等院校已将智能控制理论作为本科生和研究生的学习内容。

本书系统地介绍了模糊控制、专家控制、神经网络控制、仿人控制、遗传优化控制的理论方法,给出了许多例题和习题,以加深读者对内容的理解。书中还介绍了作者和其他人在智能控制领域的研究成果,对读者有一定的参考价值。

全书共分为7章。第1章概述了传统控制所面临的问题、智能控制的概念和发展过程、智能控制的研究内容和特点、智能控制的应用领域。第2章介绍了模糊集合论、模糊推理机制、模糊控制的原理和基本模糊控制器的设计方法。第3章介绍了专家系统的知识获取和表示方法、自动推理机制、专家智能控制系统的类型和工作原理。第4章介绍了神经网络的常见类型及其原理、基于神经网络的系统辨识方法、神经网络控制的类型及其原理。第5章介绍了仿人控制的原理和结构、仿人控制的特征状态模式及其辨识和控制模态问题、仿人控制器的设计方法及其实际应用。第6章介绍了遗传算法的优化原理、遗传算法在控制中的应用。第7章介绍了智能控制方法在林业工程中的应用。

本书第1、3、4章由东北林业大学王克奇编写;第2、5、6章由东北林业大学白雪冰编写;第7章由东北林业大学孙丽萍编写;全书由王克奇统稿,曹军审阅。

在本书编写过程中,参考了许多同行专家的著作和研究成果,在此特致谢意。

由于智能控制理论仍在发展过程中,加之作者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

作者

2013年1月于哈尔滨

目 录

前言

第1章 绪 论	(1)
1.1 智能控制的发展历史	(1)
1.2 智能控制的特点	(3)
1.3 智能控制的结构理论	(4)
1.4 智能控制与传统控制的关系	(5)
1.5 智能控制的研究对象	(6)
1.6 智能控制的类型	(7)
1.7 智能控制的应用	(11)
习 题	(13)
第2章 模糊控制系统	(14)
2.1 普通集合论	(14)
2.2 模糊集合论	(19)
2.3 模糊推理	(31)
2.4 模糊控制概述	(41)
2.5 模糊控制原理	(44)
2.6 基本模糊控制器的设计	(49)
2.7 自校正模糊控制器的设计	(62)
2.8 模糊 PID 控制器的设计	(66)
习 题	(71)
第3章 专家控制系统	(73)
3.1 专家系统的基本概念	(73)
3.2 专家系统的知识表示	(74)
3.3 专家系统的知识获取	(84)
3.4 专家系统的推理机制	(86)
3.5 专家控制系统概述	(100)
3.6 直接专家控制	(103)
3.7 间接专家控制	(105)

3.8 专家模糊控制系统	(110)
习 题	(113)
第4章 神经网络控制系统	(114)
4.1 人工神经网络概述	(114)
4.2 前馈神经网络	(118)
4.3 Hopfield 神经网络	(126)
4.4 神经网络模型辨识	(144)
4.5 神经网络控制的基本思想	(148)
4.6 单神经元自适应 PID 控制	(149)
4.7 神经元自适应 PSD 控制	(151)
4.8 神经网络内模控制	(154)
4.9 神经网络自适应控制	(156)
4.10 神经网络 PID 控制	(158)
习 题	(167)
第5章 仿人控制	(168)
5.1 仿人控制的基本原理	(168)
5.2 仿人控制的递阶结构	(170)
5.3 仿人控制的特征模型和决策模态	(177)
5.4 仿人控制器的设计	(181)
5.5 仿人控制器示例	(186)
习 题	(191)
第6章 遗传算法	(192)
6.1 遗传算法概述	(192)
6.2 遗传算法的基本原理	(193)
6.3 遗传算法的数学基础	(203)
6.4 遗传算法的应用问题	(208)
6.5 基于遗传算法的 PID 参数整定	(209)
习 题	(212)
第7章 智能控制在林业工程中的应用	(213)
7.1 智能控制方法在刨纤板施胶控制中的应用	(213)
7.2 木材干燥模糊自适应控制系统	(220)
7.3 智能控制在温室中的应用	(228)
参考文献	(234)

第1章

绪论

智能控制是控制论、信息论、系统论、人工智能、仿生学、神经生理学、进化计算和计算机等多种学科的综合,是自动控制发展的高级阶段,是自动化学科的一个十分活跃和具有挑战性的领域。目前,智能控制尚未建立起完整的理论体系,仍在不断发展过程中。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营养,正成为自动化领域中发展最迅速的一个分支。

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4个阶段。

(1) 智能控制的萌芽阶段(1965年以前)

美国人维纳(N. Wiener)在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》,书中系统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,并且成功地运用在工业和军事系统上,形成了“古典控制理论”。

20世纪60~70年代,为了解决多输入多输出系统的控制问题,人们将古典控制理论中的高阶常微分方程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,形成了以状态空间法为代表的“现代控制理论”。控制理论建立在精确的数学模型基础之上,从而造成了理论与实践之间的巨大分歧。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、分布参数、非线性、时变、不确定性等特征。建立于严密数学基础上的控制理论无法大量应用于工业系统,这体现了控制理论的局限性。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汲取营养寻求发展成为必然。1965年,美国普渡大学的傅京逊(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。

进入20世纪70年代,人们进一步深化了对智能控制的研究.1971年,傅京逊发表了重要论文,从控制论角度进一步总结了人工智能与自适应、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在其专著和文章中全面地论述了从反馈控制到最优控制,随机控制至自适应控制、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”思想及分级递阶智能控制系统的理论框架.

(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控制系统的代表作,明确提出了专家控制的新概念;1983年Saridis将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,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(电气和电子工程师协会)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,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.

中国自动化学会等机构于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新的发展时期.

1.2 智能控制的特点

1.2.1 智能控制的定义

智能控制的概念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。

定性地讲，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，并具有良好的性能指标。

1.2.2 智能控制的特点

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，并利用积累的知识不断优化、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。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。

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，以保证人一机通信、人一机互助和人—机协同工作。

⑩智能控制具有变结构和非线性特点。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寻优特性。

⑫智能控制系统应能满足多样性目标的高性能要求。

需要说明的是，并不是所有的控制系统都具有上述全部特性，这要根据具体的情况采用适合的智能控制方法来实现所要求的智能功能。实际的控制系统只要包含其中的几项特征即可称作智能控制系统。

1.3 智能控制的结构理论

智能控制的理论结构具有多学科交叉的特点,许多研究人员尝试建立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

傅京逊曾对与自学习控制(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.

他用“智能控制系统”来概括这些领域,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.

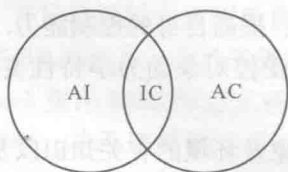


图 1-1 智能控制的二元结构

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

式中: IC(intelligent control)——智能控制;

AI(artificial intelligence)——人工智能;

AC(automatic control)——自动控制;

$\cap$ ——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,它把傅京逊的智能控制扩展为三原结构,即把智能控制看做人工智能、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两元互相交配,无助于智能控制的有效和成功应用.必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.

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

式中: IC(intelligent control)——智能控制;

AI(artificial intelligence)——人工智能;

AC(automatic control)——自动控制;

OR(operation research)——运筹学;

$\cap$ ——表示交集.

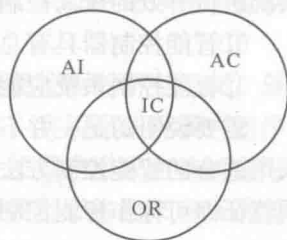


图 1-2 智能控制的三元结构

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.

1.3.3 四元结构论

我国学者蔡自兴教授于1989年提出把信息论也包括进智能控制的理论结构中,构成四元结构,把智能控制看作自动控制、人工智能、信息论和运筹学4个学科의 交接,如图1-3所示,其关系如式(1-3)描述。

$$IC = AI \cap AC \cap OR \cap IT \quad (1-3)$$

式中: IC(intelligent control)——智能控制;

AI(artificial intelligence)——人工智能;

AC(automatic control)——自动控制;

OR(operation research)——运筹学;

IT(information theory)——信息论;

∩——表示交集。

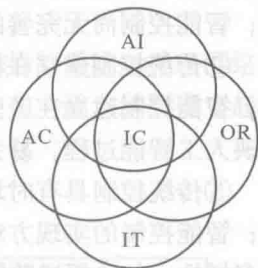


图 1-3 智能控制的四元结构

1.3.4 多元结构论

随着近年的发展,智能控制不仅包含了自动控制、人工智能、运筹学和信息论的内容,还从计算机科学、生物学、心理学等学科中汲取丰富的营养,成为人工智能、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众多学科高度综合的一门新兴边缘交叉学科。因此,智能控制只能用多元树形模型来概括其结构,如图1-4所示。

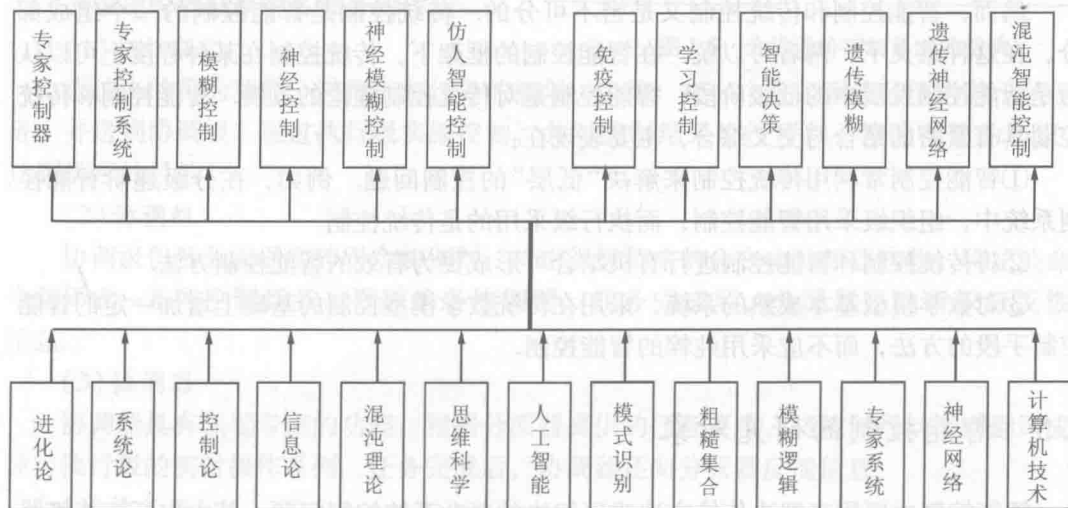


图 1-4 智能控制的多元结构树

1.4 智能控制与传统控制的关系

传统控制(conventional control)包括经典和现代控制理论与技术,是基于精确系统模型的控制,适于解决线性、时不变等相对简单的控制问题。传统控制处理高度非线性和复杂系统的效果很差,具有较弱的自学习、自适应、自组织功能和容错能力。由于对

象模型的不确定性、环境的复杂性和控制任务或目标的复杂性不断增加,基于精确数学模型的传统控制就显得力不从心.与传统控制相比,智能控制在理论方法、应用领域、性能指标等方面存在以下不同:

①传统控制以反馈控制理论为核心,以线性定常系统为主要对象,有完善的理论体系;智能控制尚无完善的理论体系.

②传统控制建立在精确数学模型的基础上,对大规模、复杂和不确定性系统不易描述;智能控制建立在经验和知识的推理上,可以获取和描述更多的知识信息.前者不能反映人工智能过程,易丢失许多有用的信息.

③传统控制具有时域法、频域法、根轨迹法、状态空间法等有效的分析和综合方法;智能控制的实现方法建立在学习、训练、逻辑推理、判断和决策等符号加工上,呈现多样性,如分级递阶智能控制、模糊控制、神经网络控制、专家控制系统、大系统智能控制、分层智能控制、分布式问题求解、进化论及遗传算法、认知心理学等.

④传统控制有严格的性能指标体系,如稳态误差、动态性能、系统稳定性、可控性和可观察性;智能控制以控制的目的和行为来评价系统性能,无统一的性能指标体系.

⑤传统控制着重解决单机自动化、不太复杂的过程控制和大系统的控制问题;智能控制主要解决高度非线性、强不确定性和复杂系统控制问题.因此,智能控制应用极为广泛,可涉及自然科学和社会科学的各个领域,是控制界当前的研究热点和今后的发展方向.

然而,智能控制和传统控制又是密不可分的.传统控制是智能控制的一个组成部分,在这种意义下,两者可以统一在智能控制的框架下,传统控制在某种程度上可以认为是智能控制发展中的低级阶段,智能控制是对传统控制理论的发展.智能控制和传统控制具有紧密的结合与交叉综合,主要表现在:

①智能控制常利用传统控制来解决“低层”的控制问题.例如,在分级递阶智能控制系统中,组织级采用智能控制,而执行级采用的是传统控制.

②将传统控制和智能控制进行有机结合可形成更为有效的智能控制方法.

③对数学模型基本成熟的系统,采用在传统数学模型控制的基础上增加一定的智能控制手段的方法,而不应采用纯粹的智能控制.

1.5 智能控制的研究对象

智能控制主要用来解决传统方法难以解决的复杂系统控制问题,其中包括智能机器人系统、复杂工业过程控制系统、计算机集成制造系统、航空航天控制系统、社会经济管理系统、环保及能源系统等.其研究对象具有以下特点:

①由于实际系统存在复杂性、非线性、时变性、不确定性和不完全性等,一般无法获得精确的数学模型.应用传统控制理论进行控制必须提出一些比较苛刻的线性化假设,而这些假设在应用中往往与实际情况不相吻合.

②对于某些复杂的和包含不确定性的控制过程,根本无法用传统数学模型来表示,即无法解决建模问题.

③为了提高控制性能,传统控制系统可能变得很复杂,从而增加了设备的投资,降低了系统的可靠性。

1.6 智能控制的类型

智能控制系统分为分级递阶控制系统、专家控制系统、模糊控制系统、神经网络控制系统和学习控制系统等。但在实际运用中,几种方法往往结合在一起,从而建立起混合或集成的智能控制系统。

1.6.1 分级递阶控制系统

分级递阶控制方法是由 Saridis 最早提出,在智能控制领域具有重要的标志性意义。分级递阶控制系统由组织级、协调级、执行级组成,如图 1-5 所示。智能主要体现在高层次上,执行器仍采用常规控制器,由上至下控制精度递增,智能递减。适用于大型分布式系统和机器人控制,缺点是对于不确定性系统难以进行有效控制。

分级递阶控制系统各部分的作用:

(1) 组织级

模仿人的行为功能,进行控制任务的规划、决策。把一个复杂系统分解为若干子任务,并送到协调级、通过执行级实施控制,并对控制结果进行评判,修改存储的知识,达到学习的目的。

(2) 协调级

协调级包括分派器和若干个协调器。从组织级传来的命令由分派器接收,将这些命令翻译成一系列控制任务,再送给各协调器。任务完成后,分派器还向组织级反馈信息。

(3) 协调器

协调器具有领域专家的功能,根据分派器提供的任务要求,将控制行动序列翻译成面向执行级的实时操作系列。任务完成后,协调器还向分派器反馈信息。

(4) 执行级

执行级的作用是直接控制局部过程,完成协调器分派的子任务。执行级必须具有很高的控制精度,而不必有更多的智能功能,一般采用常规控制器或优化控制器。

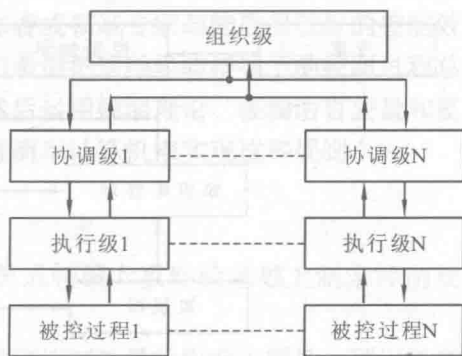


图 1-5 分级递阶控制系统的结构

1.6.2 专家控制系统

(1) 专家系统

专家系统是一类包含着知识和推理的计算机程序,其内部含有领域专家水平的知识,能够利用人类专家的知识 and 解决问题的方法来处理该领域的问题。专家系统可以解

决的问题包括解释、预测、诊断、设计、规划、监视和控制。专家系统的关键问题是专家知识的表达和运用，其目的是在不完全、不精确或不确定的信息基础上得出结论。

专家系统由知识获取系统、知识库、推理机、解释机制组成。

(2) 专家控制系统

应用专家系统的概念和技术，模拟人类专家的控制知识与经验而建造的控制系统，称为专家控制系统。专家控制(expert control)把人类操作者、工程师和领域专家的经验知识与控制算法相结合，知识模型与数学模型相结合，符号推理与数值运算相结合，知识信息处理技术与控制技术相结合，改变了单纯依靠数学模型的局面，因此是智能控制的一个重要分支。

专家控制系统的典型结构如图 1-6 所示。

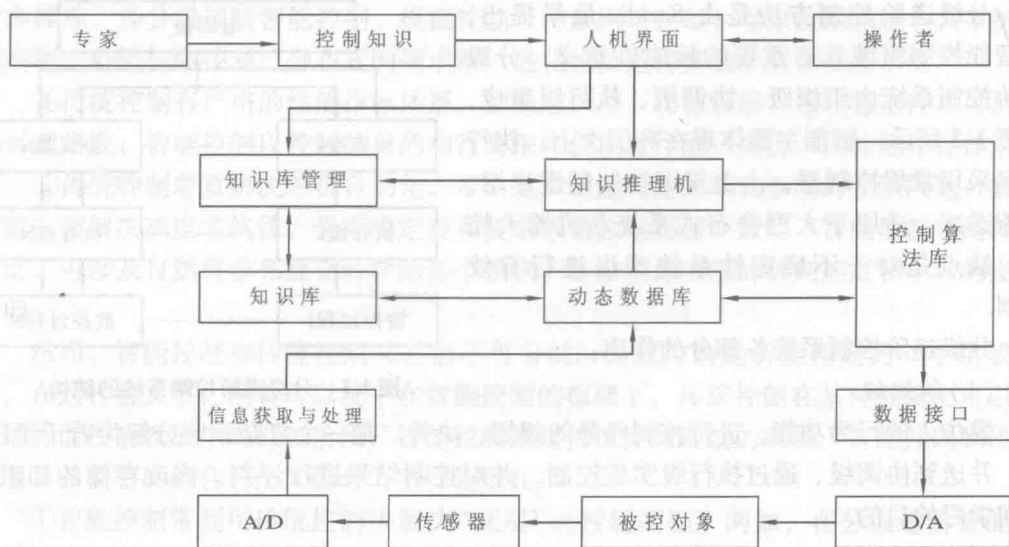


图 1-6 专家控制系统的典型结构

(3) 专家控制系统的特点

- ①模拟人的思维活动 能进行自动推理、应对各种变化。
- ②监督控制过程 处理大量低层信息，实现性能指标的优化。
- ③扩展控制功能 如质量控制、故障诊断、容错控制、控制策略的变换和参数的自动修正等。

(4) 专家控制系统的具体形式

①基于规则的专家控制(直接专家控制) 专家系统直接包含在控制回路中，专家系统根据测量到的过程信息和知识库中的规则推导出控制信息，从而影响被控过程。

②监督专家控制器(间接专家控制) 监督专家控制器是常规 PID 控制器、自适应控制和专家系统的结合。专家系统的作用是监督系统的运行，根据运行状况，在线实时调整常规控制器参数或选择更合适的控制策略。

③混合型专家控制 包括仿人智能控制、模糊专家控制和多级专家控制。

(5) 专家控制存在的问题

①知识获取、知识的表示及其适时性问题。

②知识库的构造和维护问题。

③稳定性和可控性分析问题。

1.6.3 模糊控制系统

(1) 模糊控制的概念

1965年美国著名控制专家 L. A. Zaden 创立了模糊集理论。所谓模糊控制,就是在被控制对象的模糊模型的基础上,运用模糊推理手段,实现系统控制的一种方法。

模糊控制的基本思想是受这样的启发:对于用传统控制理论无法进行分析综合的复杂系统或无法建立数学模型的系统,有经验的操作者或领域专家却能取得较好的控制效果。这是因为他们拥有长期积累的经验,因此人们希望把这种经验指导下的控制过程总结成一些规则,并根据这些规则设计出控制器。然后运用模糊理论、模糊语言变量和模糊逻辑推理,把这些模糊语言上升为数值运算,进而用计算机来实现这些规则。

(2) 模糊控制的优、缺点

模糊控制具有以下优点:

①无须被控对象的数学模型。完全在操作人员或领域专家经验基础上制定控制规则,这对解决不确定性系统非常有效。

②具有良好的鲁棒性。被控对象参数变化对模糊控制效果的影响不明显,可用于非线性、时变、时滞系统。

③适时性好。离线计算控制表,保证适时性。

④符合人类的思维方式。

模糊控制具有以下缺点:

①导致精度下降。

②缺乏系统化的设计方法,无法定义控制目标。

③没有从理论上解决稳定性分析问题。

(3) 模糊控制的分类

模糊控制可分为基于模糊理论的方法和模糊混合方法两大类。

基于模糊理论的方法是对所获取的数据、信息和专家知识进行模糊处理及模糊推理,从而实施控制。该方法比较成熟,应用广泛,其优点是不需要建立系统的精确数学模型,缺点是模糊规则在很大程度上是依靠人的经验制定的,这对于大型复杂系统和新设备就存在很大困难;系统本身不具有学习能力,难以进行自适应调整。

因此,将模糊技术与其他自学习和优化技术相结合,可以扬长避短,这样就产生了模糊混合控制方法,主要有模糊神经网络方法、模糊专家系统方法、模糊遗传算法方法和模糊—神经网络—软计算方法等。

1.6.4 人工神经网络控制系统

近年来,人工神经网络(artificial neural network, ANN)的研究引起学者们的极大关

注,是多学科交叉融合的研究热点之一,目前神经网络的类型已有100余种。ANN已被广泛应用于信息处理、模式识别、智能控制、故障诊断、优化组合、机器人控制等领域。

人工神经网络是由大量与生物神经细胞相类似的人工神经元互连而成的网络。ANN具有分布式信息存储、并行处理、自学习、自组织和自适应等特点,具有强大的非线性处理能力。基于ANN的控制技术具有较大的优越性,表现在如下几方面:

①并行结构与并行信息处理方式。神经网络克服了传统的控制系统出现的无穷递归、组合爆炸及匹配冲突等问题。

②系统在知识表达与组织、控制策略与实施等方面可根据环境自适应、自组织达到自我完善。

③具有很强的自学习能力。它克服了传统的确定性理论及模糊控制理论在应用上的局限性,系统可根据环境提供的大量信息,自动进行联想、记忆及聚类等方面的自组织学习,也可在导师的指导下学习特定的任务,从而达到自我完善。

④具有很强的容错性。当外界输入到神经网络的信息存在局部错误时不会影响到整个系统的输出性能。

ANN同现有的信号处理系统、专家系统、模糊逻辑等控制技术相结合,为自动控制、模式识别提供了一种新的途径。但是,ANN也有许多局限性,例如神经网络控制系统收敛性和稳定性的证明问题、快速学习方法问题、缺乏系统化的设计方法、缺乏硬件支持等。

1.6.5 基于遗传算法的智能控制

基于Darwin的进化论和Mendel的遗传学说,美国密执安大学的John H. Holland于1975年提出遗传算法。遗传算法将问题求解转换成由染色体组成的进化群体,并用一组遗传算子对该群体进行遗传操作,通过“适者生存,不适者淘汰”的进化机制,反复进行“生成—评价—选择—操作”的进化过程,直到搜索到最优解为止。目前,遗传算法用于自动控制主要是进行系统参数的辨识、控制参数的在线优化、神经网络中的学习等。

1.6.6 免疫算法控制

免疫算法是模仿生物免疫系统的反应机制,结合工程应用的一种计算方法。免疫算法具有良好的系统应答性和自主性,对干扰具有较强的维持系统自平衡的能力,自我—非自我的抗原识别机制使免疫算法具有较强模式分类能力。免疫算法的关键在于系统对受害部分的屏蔽、保护和学习控制。因控制任务和采用智能技术的不同,免疫控制器的体系结构可能有所不同。不过,免疫控制器一般由3层构成,即底层、中间层和顶层。

控制器底层包括控制模块和计算模块。计算模块用于信号综合、免疫计算和其他智能计算,而控制模块则向执行模块发出控制指令。顶层为智能模块,是控制器的决策层,提供免疫算法类型、系统任务和相关智能技术,用于模拟人类的决策行为。

1.6.7 仿人智能控制

仿人智能控制理论认为：从人工智能求解的基本观点来看，一个控制系统的运行实际上是控制机构对控制问题的求解过程。因此，仿人智能控制研究的主要目标不是被控制对象，而是控制器本身如何模仿控制专家的结构和行为功能，即建立控制器的知识模型，通过控制器自身的智能行为去应付对象以及环境的各种变化。

1.6.8 学习控制系统

学习是人类的主要智能之一，人类的各项活动也需要学习。在人类的进化过程中，学习功能起着十分重要的作用。学习控制正是模拟人类自身各种优良的控制调节机制的一种尝试。所谓学习是一种过程，它通过重复输入信号，并从外部校正该系统，从而使系统对特定输入具有特定响应。学习控制系统是一个能在其运行过程中逐步获得受控过程及环境的非预知信息，积累控制经验，并在一定的评价标准下进行估值、分类、决策和不断改善系统品质的自动控制系统。

1.6.9 混沌控制

混沌(chaos)是非线性动力学系统所特有的一种运动形式，它是确定性的非线性系统在不需附加任何随机因素的情况下就可以出现的一种类似随机的行为。混沌运动对系统的初始条件极其敏感，其运动轨道是不稳定的，初始条件或参数的微小扰动会使系统的运动轨道产生指数规律的变化，混沌系统的长期行为是不可预测的。

混沌控制是通过微小控制量的作用使受控混沌系统脱离混沌状态，达到预期的周期性动力学行为，如平衡态、周期运动或准周期运动。混沌同步总体上属于混沌控制的范畴，它是通过施加控制作用，使被控系统的运动轨道收敛另一混沌系统的同一值，并一直保持步调一致。目前，人们已经提出了多种不同的混沌控制方法，取得了很好的效果。有几种常用的混沌控制方法，如参数微扰方法、延迟反馈方法、脉冲控制方法、工程控制方法和智能控制方法等，各有优缺点，适用的混沌系统也不相同。其中智能控制具有良好的自适应性、鲁棒性及容错性，能够很好地控制具有高度不确定性的非线性系统。模糊控制和神经网络控制在混沌系统的建模和控制中已经有了一些研究。在混沌系统控制中较具代表性的模型有神经网络直接逆动态控制、网络参数估计自适应控制、神经网络模型参考自适应控制、神经网络内模控制、神经网络预测控制等。由于混沌系统的复杂性，神经网络往往自觉或不自觉地与各种控制技术，如变结构控制、模糊控制、专家系统等组合，构成基于神经网络的智能复合控制结构。

1.7 智能控制的应用

智能控制已广泛应用于自然科学和社会生活的各个领域，其工程应用日益成熟。下面介绍智能控制的应用现状和发展前景。