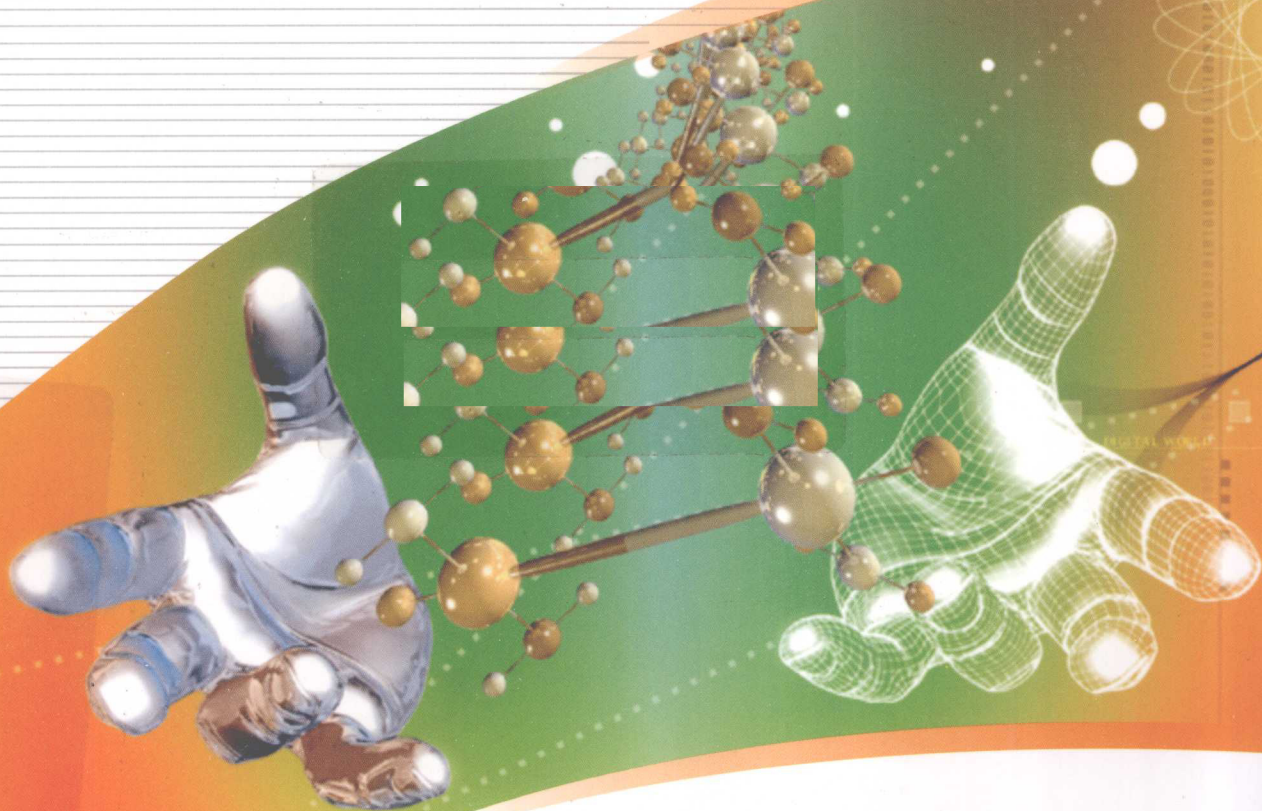




21世纪电气信息学科立体化系列教材

# 智能控制

● 主编 赵明旺 王 杰

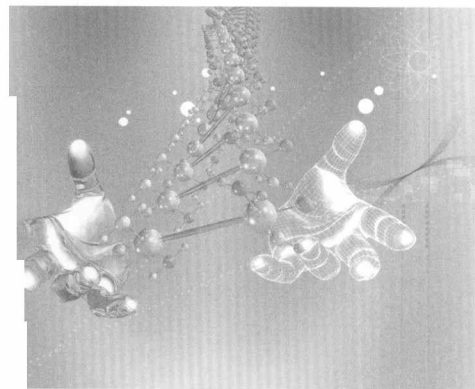


华中科技大学出版社  
<http://www.hustp.com>



21世纪电气信息学科立体化系列教材

# 智能控制



华中科技大学出版社  
(中国·武汉)

**图书在版编目(CIP)数据**

智能控制/赵明旺 王 杰 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2010年3月  
ISBN 978-7-5609-6047-0

I. 智… II. ①赵… ②王… III. 智能控制-高等学校-教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 030377 号

**智能控制**

**赵明旺 王 杰 主编**

策划编辑:王红梅

封面设计:秦 茹

责任编辑:王红梅

责任监印:熊庆玉

责任校对:刘 竣

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉众心图文激光照排中心

印 刷:华中科技大学印刷厂

开本:787mm×960mm 1/16

印张:22.25 插页:2

字数:480 000

版次:2010年3月第1版

印次:2010年3月第1次印刷

定价:34.80元

ISBN 978-7-5609-6047-0/TP·720

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

# 内容提要

本书介绍智能控制及相关的人工智能理论基础知识。全书共分9章。第1章概述智能控制的发展、人工智能理论和智能控制的概念及主要内容。第2章介绍人工智能的基础知识,包括知识表示、问题求解等,并引入人工智能方法表示和求解控制问题。第3章简述专家系统的基础知识,深入介绍专家控制系统的结构和设计方法。第4章和第5章分别介绍模糊数学基础知识和模糊控制,着重讨论多维模糊控制方法。第6章和第7章分别介绍神经网络基础知识和神经网络控制,深入讨论神经网络辨识的机理,以及各种神经网络控制方法的系统结构和实现。第8章介绍包括遗传算法、蚁群算法、粒子群算法和人工免疫算法的群智能算法及其在系统辨识、PID控制器参数整定等问题中的应用。第9章介绍混合智能控制系统,包括混合系统的结构、混合的方法及应用。

本书可作为自动化专业及其相关的电气工程类、测控类和机械工程类专业的本科生及研究生教材,也可供从事控制理论与控制工程研究、设计和应用的科技工作者参考使用。

# 前 言

智能控制是基于人类对智能的认识所发展起来的人工智能理论,其研究重点在于处理被控系统的复杂性,是具有智能行为和特征的新型控制方法。它是在人工智能和自动控制等多学科基础上发展起来的交叉学科。自20世纪60年代末提出智能控制这一新名词与新思维以来,智能控制一直是当代自动控制学科中一个十分活跃并具有挑战性的前沿领域。智能控制这一新思维,使得人们在处理具有非线性、信息不完整、解析模型难以建模等复杂性的被控系统的控制问题上,有了更深层次的认识,产生了更有效、更有针对性的控制方法。50年来,在智能控制领域孕育了以专家控制、模糊控制、神经网络控制为代表的新型控制方法,极大地发展了自动控制学科。

20世纪90年代,智能控制作为一门独立课程进入本科生和研究生的课堂,它是自动化专业及与其相关的电气工程类、测控类和机械工程类专业深受欢迎的课程。学习本课程的目的是使学生能获得基本的人工智能理论和智能控制知识,掌握智能控制系统的分析和控制方法,并为进一步学习深造和实际运用打下扎实的基础。全书包含专家控制、模糊控制、神经网络控制和群智能计算与控制等四种智能控制方法及相应的智能理论基础知识,重在介绍各种智能控制方法的思想、系统结构和实现方法。

智能控制正处于发展中,且远未成熟;其涉及的概念与方法既广且多,又缺乏一个统一的基础理论、统一的分析和设计平台,这都给讲授和学习带来许多困扰。此外,智能控制的诞生和发展又紧密结合于工程应用,有非常广泛的实际背景。教学中既要讲清各种新概念、新方法,建立智能控制的独特、新颖的思维方式,又要在理论方法与工程设计及应用中架桥铺路,这给智能控制课程的教学带来极大困难与挑战。本书编著者多年从事智能控制领域的科研和教学工作,在教材内容和教学方法上都曾花费大量心血,这为编著好这本教材打下了扎实的基础。

在华中科技大学出版社与有关高校相关院系的组织与协调下,我们来自五所高校长期担任智能控制课程教学的老师组成了本书的编委会。大家集思广益,深入细致地讨论了本书的编写大纲,然后分工负责各章的编写工作。其中,武汉科技大学赵明旺负责编写第1、2和6章;中国地质大学贺良华负责编写第3章;郑州大学陈树伟负责编写第4章;郑州大学王杰负责编写第5、9章,海军工程大学宋立忠负责编写第7章,江苏科技大学高尚负责编写第8章;全书由赵明旺和王杰负责修改与统稿。天津理工大学高强参与制订编写大纲,并提出了富有建设性的建议,在此致以衷心谢意!

在本书的编著过程中,编著者参考了国内外的大量的专著、教材和文献,在此谨向有关著作者致以衷心的感谢!

本书仅是智能控制学习过程中的一环。学习过程的实施,还有赖于教学者和学习者这两个教学的主体,有赖于他们教与学的实践。因此,编著者恳请使用过本书的老师和同学们不吝赐教,谢谢!

为了方便课堂教学,编著者还编写了与本书配套的教学课件,需要者可直接联系华中科技大学出版社或本书编著者免费索取,联系方式:mei62821521@163.com 或 zhaomw@public.wh.hb.cn。

21 世纪电气信息学科立体化系列教材  
《智能控制》编委会

2010 年 1 月



## 1 绪论

1.1 自动控制的机遇与挑战 .....	(1)
1.2 智能及智能理论 .....	(5)
1.3 智能控制的发展 .....	(10)
1.4 智能控制方法与应用 .....	(15)
1.5 本书的主要内容 .....	(26)
本章小结 .....	(27)
思考题与习题 .....	(27)

## 2 人工智能基础

2.1 知识表示方法 .....	(29)
2.2 图搜索 .....	(56)
2.3 消解原理 .....	(68)
本章小结 .....	(77)
思考题与习题 .....	(77)

## 3 专家控制系统

3.1 专家系统 .....	(79)
3.2 专家控制系统的结构与原理 .....	(92)
3.3 专家控制系统的设计 .....	(100)
本章小结 .....	(121)
思考题与习题 .....	(121)

## 4 模糊集合与模糊推理

4.1 模糊集合及其基本运算 .....	(124)
4.2 模糊关系 .....	(131)
4.3 模糊推理 .....	(133)
4.4 模糊化与解模糊化 .....	(139)
本章小结 .....	(142)
思考题与习题 .....	(142)

## 5 模糊控制系统

5.1 概述 .....	(143)
5.2 直接模糊控制系统 .....	(151)

5.3 监督模糊控制系统 .....	(173)
本章小结 .....	(183)
思考题与习题 .....	(183)

## 6 神经网络导论

6.1 生物原型研究 .....	(185)
6.2 ANN 模型 .....	(190)
6.3 前馈神经网络 .....	(195)
6.4 Hopfield 网络 .....	(213)
6.5 支持向量机网络 .....	(225)
本章小结 .....	(241)
思考题与习题 .....	(242)

## 7 神经网络控制系统

7.1 概述 .....	(243)
7.2 控制系统模型辨识的神经网络方法 .....	(245)
7.3 直接神经网络控制系统 .....	(253)
7.4 混合神经网络控制系统 .....	(259)
本章小结 .....	(272)
思考题与习题 .....	(272)

## 8 群智能计算与控制

8.1 群智能算法概述 .....	(273)
8.2 遗传算法与智能控制 .....	(275)
8.3 蚁群算法与智能控制 .....	(288)
8.4 粒子群算法与智能控制 .....	(296)
8.5 人工免疫系统与智能控制 .....	(304)
本章小结 .....	(310)
思考题与习题 .....	(310)

## 9 混合智能控制系统

9.1 混合智能控制系统概述 .....	(311)
9.2 模糊系统与人工神经网络的融合 .....	(317)
9.3 专家模糊控制系统 .....	(329)
9.4 其他类型的混合智能控制系统 .....	(331)
本章小结 .....	(335)
思考题与习题 .....	(336)

## 附录

附录 A 符号表 .....	(337)
附录 B 中英文专业名词对照表 .....	(338)
参考文献 .....	(343)





# 绪 论

自动控制经过百余年的发展,无论是在控制理论还是在控制工程上都取得了巨大成功。但是,随着社会的发展,控制对象日益复杂、控制目标越来越高,控制理论与控制工程面临的挑战也越来越大。以控制理论和智能理论为基础,以模拟人的智能化操作和经验为手段的智能控制方法应运而生。本章首先简要介绍自动控制的发展和所面临的挑战,然后介绍智能、人工智能(简称 AI)、计算智能的定义和研究范畴。基于智能理论,引入了智能控制的定义,并简介了智能控制的研究内容及应用领域,归纳并提出四种智能控制系统的基本结构。作为全书的开篇,力求通过对智能控制的发展前景和应用成果的展示,激发读者对智能控制及相关领域知识探求的欲望和学习热情。

## 1.1 自动控制的机遇与挑战

自动控制同其他技术科学一样,其产生与发展主要由人类的生产发展需求和当时的知识与技术水平决定。经过百余年的发展,自动控制这一学科在控制理论与控制工程这两大领域已经取得巨大成就。人类文明促进了自动控制的发展,自动控制的发展反过来也促进了人类文明的进步,尤其是近代工业文明的进步。

自动控制的历史可以上溯到古罗马的亚历山大运用反馈控制来调节水钟、中国汉代的指南车等控制技术的应用。在近代,1681年法国发明家巴本(D. Papin)发明了用做安全调节装置的锅炉压力调节器,1765年俄国人普尔佐诺夫(I. Polzunov)发明了蒸汽锅炉水位调节器等。劳动人民凭借生产实践中积累的丰富经验和对反馈概念的直观认识,发明了许多闪烁着控制思想智慧火花的杰作,奠定了自动控制发展的基础。

下面分别从控制理论和控制工程两个领域回顾自动控制的发展历程。

### 1.1.1 控制理论的发展历程

控制理论的发展大致可以分为经典控制理论和现代控制理论两个阶段。

#### 1. 经典控制理论

1788年,英国人瓦特(J. Watt)在他发明的蒸汽机上使用了离心调速器,解决了蒸汽机的速度控制问题。这项发明引起了人们对控制技术的重视,此后人们曾经试图改善调速器的准确性,却常常导致系统产生振荡。

进入19世纪,工业化生产的需要,迫使科学家与技术人员系统地研究设计能“自动”“稳定”且无须人为操作干预的生产工具与设备的一般性的理论和方法,也就是控制理论。英国学者麦克斯韦(J. K. Maxwell)开展了飞球调节稳定性研究,解释了瓦特蒸汽机速度控制系统中出现的剧烈振荡的不稳定问题,提出了简单的稳定性代数判据。麦克斯韦开辟了用数学方法研究控制系统的途径,标志着控制理论研究的开始。

英国数学家劳斯(E. J. Routh)和德国数学家胡尔维茨(A. Hurwitz)把麦克斯韦的思想扩展到高阶微分方程描述的、更复杂的系统中,分别在1877年和1895年提出了根据代数方程的系数直接判别系统稳定性的两个著名的稳定性判据——劳斯判据和胡尔维茨判据。1948年,美国科学家伊万斯(W. R. Evans)创立了根轨迹分析方法,为分析系统性能随系统参数变化而变化的规律提供了有力工具,被广泛应用于反馈控制系统的分析、设计中。这些方法奠定了经典控制理论中时域分析法的基础。

进入20世纪,美国物理学家奈奎斯特(H. Nyquist)研究了长距离电话线信号传输中出现的失真问题,运用复变函数理论在1932年提出了以频率特性为基础的稳定性判据,奠定了频域法的基础。随后,美国科学家伯德(H. W. Bode)和尼科尔斯(N. B. Nichols)在20世纪30年代末进一步发展了频域法,形成了频域分析与设计方法,为工程技术人员提供了一个设计反馈控制系统的有效工具。

控制论创始人维纳(N. Wiener)把由控制理论引起的自动化同第二次产业革命联系起来,于1948年出版了《控制论——关于在动物和机器中控制与通讯的科学》。书中论述了控制的一般方法,推广了反馈的概念,为控制这门学科奠定了基础。钱学森将控制理论应用于工程实践,并于1954年出版了第一部系统介绍控制理论与控制设计的巨著——《工程控制论》。至此,以维纳控制论为指导,以传递函数作为描述系统的数学模型,以时域分析法、根轨迹法和频域分析法为主要分析、设计工具,构成了经典控制理论的基本框架。到20世纪50年代,经典控制理论发展到相当成熟的地步,形成了相对完整的理论体系,为指导当时的控制工程实践发挥了极大的作用。

#### 2. 现代控制理论

20世纪50年代,世界进入分别以苏联和美国为首的东西方两大政治与军事集团冷战格局,军备竞赛日趋白热化,工业生产进入前所未有的大发展。基于频域法的经典控制方法,已无法有效处理诸如最小时间、最小能量等品质指标最优化的控制问题,以及系统中广泛存在多变量、随机性、非线性动力学等复杂对象的控制问题。

1956年,苏联科学家庞特里亚金(L. S. Pontryagin)提出求解最优控制的极大值原理,并于1961年证明了该原理。1959年,美国数学家卡尔曼(R. Kalman)等人提出了著名的卡尔曼滤波器;1960年,又在控制系统的研究中成功地应用了状态空间法,提出了系统的能控性和能观性问题。1964年,美国数学家贝尔曼(R. Bellman)运用其讨论了离散多阶段决策的最优性原理(动态规划法),解决了连续动态系统的最优控制问题。至此,以庞特里亚金、卡尔曼和贝尔曼的成果为标志,并辅之以1892年俄国科学家李雅普诺夫(A. M. Lyapunov)的运动稳定性理论,控制理论研究进入了现代控制理论阶段。该阶段控制理论发展的主要特点是,提出了状态空间分析与最优控制的理论,并围绕系统复杂性与不确定性这个主题蓬勃发展。

(1) 20世纪50年代,出现了处理被控系统模型未知及特性变化这一不确定性,提高控制器在线学习与适应能力的自适应控制方法。

(2) 20世纪60年代,出现了处理被控系统及其环境的随机因素这一复杂性的随机系统理论。

(3) 20世纪70年代,出现了处理被控系统的大系统特性这一复杂性的大系统理论,其主要方法为递阶控制和分散控制。

(4) 20世纪80年代,出现了处理被控制系统的非线性这一复杂性的非线性系统理论的几何学派和代数学派。

(5) 20世纪80年代,出现了处理被控制系统的模型不确定性的鲁棒控制方法。

(6) 20世纪80年代,出现了处理被控制系统的运动为事件驱动这一系统描述复杂性的离散事件动态系统理论。

对控制中复杂性与不确定性的研究和探索推动了控制科学发展。控制理论的发展过程与控制复杂性的相关性如图1-1所示。

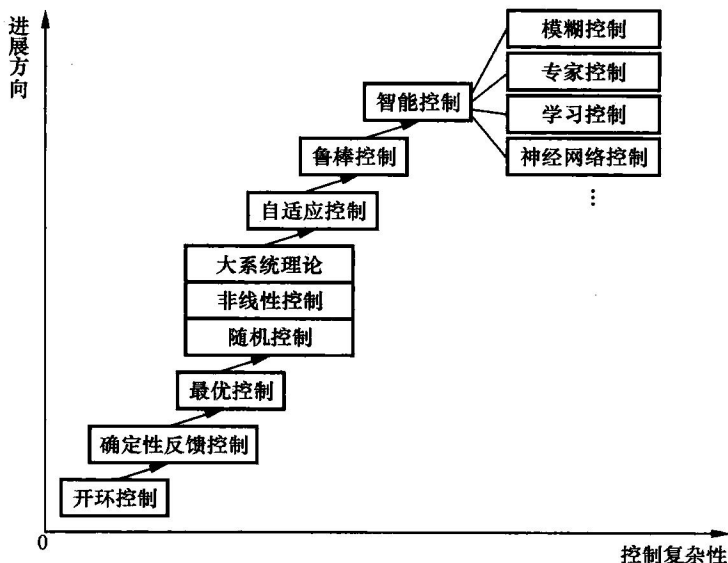


图 1-1 自动控制的发展过程与控制复杂性的相关性

从控制理论的历史足迹可以看出,自动控制起源于历代劳动人民的工程实践,成长于现代科学繁荣发展的时代。自动控制是一门理论与应用并重的学科,它的理论基础来源于几乎所有现代科学的分支,如数学、物理、力学、计算机、生命科学和认知科学等。

### 1.1.2 控制工程的发展历程及对控制理论的挑战

控制科学是一门理论与应用并重的学科。控制理论发展的原动力来自工程实践的需要,并反过来推动控制工程的迅猛发展。二者相互促进与发展,构成了控制科学在 20 世纪的繁荣。

可以说,人类文明的进化史就是从掌握工具开始的。从最早的取自大自然的简单的生产、生活工具,到能生产、制造工具及机器设备,发展到今天机器设备的有效生产、制造和运用,人类逐步进入工业化时代,机器设备的生产与制造进入了机械化时代。所谓机械化,是指人类把力学原理与动力技术应用于机器设备,使机器能代替原来由动物或人类执行的体力劳动的过程。当能利用反馈信息使机器设备通过伺服机构根据偏差自动调节,并使之重新达到正常状态时,机器设备就真正实现自动化,即从机械化时代进入了自动化时代。第一次工业革命中,大功率动力机和动力系统的产生和应用,使人类开始实现部分体力劳动的机械化与自动化。

初期的自动化设备中只采用开环调节和单一固定操作。当被控设备对象受到来自内部或外界的扰动时,开环调节和固定操作不能保证系统的调节与操作的准确性,需要引入反馈来测定调节与操作的准确性,并根据调节与操作的误差对调节量进行补偿,为此反馈调节设计与反馈调节系统得到广泛应用。第二次世界大战期间,反馈控制方法已成功应用于设计、研制火炮定位系统、火箭制导系统、雷达天线控制系统以及其他军用系统,并逐渐转移至工业生产系统,如电动机的传动控制系统、单回路的化工仪表调节系统等。此阶段,控制系统的特征是单机控制,即面对的是以单机设备、单回路为代表的单输入、单输出被控对象,控制方法多为以 PID(比例 - 积分 - 微分)调节为代表的基于频域法的线性控制方法。

20 世纪 50 年代末,随着军事工业系统、航空航天系统的迅猛发展,这些领域的控制问题的复杂性和对快速跟踪、精确控制的高性能追求,迫切要求拓展已有的控制技术。此时诞生的基于状态空间的多变量控制、最优控制等现代控制方法,以及计算机工业控制系统,使得控制系统从 20 世纪 70 年代逐渐走向多机设备、多回路系统等多输入、多输出被控系统,走向如最短时间、最小能量等控制品质指标最优化控制的系统。典型的控制系统有飞机自动驾驶仪、火箭控制系统、卫星姿态控制系统、电动机传动的机组控制系统、多回路的化工仪表调节系统等。

控制理论与控制工程是建立在精确的系统数学模型基础上的,而实际系统由于存在复杂性、非线性性、时变性和不确定性等,一般难以构建精确的数学模型。近年来,虽然控制理论致力于对建模要求较低、对建模误差具有较好适应性的鲁棒控制理论研究,和能进行在线模型辨识与控制器参数自适应的自适应控制研究,但鲁棒控制对建模误差的鲁棒

性与自适应控制对系统参数和结构的变化的适应性还仅仅是局部的、小(微)摄动的,远非人们所期望的能对全局的、大范围的控制,不能克服数学模型严重的不确定性和工作点剧烈的变化对控制系统的影响。因此,许多现代控制方法在实际工程中的应用还是有限的。

当代科技与工业生产的发展,如外层空间的探星工程、深海探测与应用、互联网的安全与稳定、计算机集成制造(生产)系统的高度综合自动化、机器人的仿人智能技术等领域的发展,带来了许多新的控制问题,需要控制理论与控制技术提供新的支持。这些新型的控制领域的控制问题,对当今控制理论与控制技术而言无疑是巨大的挑战。控制理论与控制工程所面临的挑战主要体现在以下几个方面。

#### 1) 控制对象的复杂性

(1) 系统规模大,结构复杂。如系统的子系统和环节种类繁多,并体现出不同的层次特性、地域的分布性,子系统通过网络化的连接呈现复杂的系统结构。这类典型系统有规模巨大、结构复杂的互联网等。

(2) 系统结构和动力学的高维性、分布性、高度非线性性、多时间标度、时变性、突变性、随机性以及不确定性等。这类问题有空间飞行器的挠性结构的太阳板的控制问题等。

(3) 系统的特性和动力学难以用传统数学方法及模型表达。如计算机集成制造(生产)系统的加工活动是以加工事件的开始与完成来刻画系统的进程的,难以用传统微分方程描述;再如连续的生化过程、相变过程的机理非常复杂,难以建模。

(4) 信息的复杂性。如智能机器人所感知的信息为诸如图像、声音等复杂的多维信号。

(5) 传感器和执行器数量大,且十分分散。

#### 2) 环境的复杂性

表现在环境的时变性、随机性、不确定性和不可预知性,以及环境与被控对象的相互作用。如外层空间和深海探测存在环境的不确定性和不可预知性。

#### 3) 控制任务或目标的复杂性

表现在控制目标和任务的综合性、多重性、时变性。如计算机集成制造(生产)系统的多品种小批量、变品种变批量的复杂生产过程,其控制要求为准时、保质、保量、高效,体现出任务的多重性;再如,无人驾驶系统的目标任务为到达指定的目的地,体现出任务的综合性。

面对当代科技与生产发展带来的挑战,控制理论需要有新思维、新理论、新技术和新工具。诞生于20世纪50年代的人工智能(简称AI)理论,主要研究智能的机制以及人工模拟与实现,能很好地模拟人的思维、充分利用专业知识和专家的经验去求解复杂问题,给基于传统数学模型与数学方法的控制理论以新的启迪。此外,计算机技术和信息技术的迅猛发展,也给控制理论提供了强有力的工具支撑。面对控制领域的挑战,智能理论与控制理论相结合产生的智能控制理论与技术正是新的选择。

## 1.2 智能及智能理论

智能控制是基于人类对自然界的智能的认识所发展起来的智能理论与方法,包括基

于符号逻辑的传统 AI 理论与基于复杂计算的计算智能理论。智能控制重在对被控系统复杂性处理的“智能”方法上,其“智能”程度及对自然界“智能”的认识,与 AI 和计算智能理论的内涵与范畴都紧密相关。因此,有必要讨论智能的概念以及相关的智能理论与方法。

### 1.2.1 智能

智能是人类和地球上生物所具有的一种思维和行为的能力。作为智能的一个最重要的部分,人类智能是特指人类所具有的思维和行为能力,是智能发展的巅峰。因此,一般认为人类智能的内涵与范畴可代表智能的内涵与范畴,研究智能主要是研究人类智能。

人类智能伴随着人类活动处处时时存在。人类的许多活动,如解题、猜谜语、讨论、计划与决策、编程,甚至驾驶汽车和骑自行车等,都需要“智能”。但到底“智能”为何物?这似乎是约定俗成的,其实又是见仁见智的问题。事实上,人们关于智能的观点是随着生物学、认知科学的发展和新型人工制品的出现而不断变化的,即智能有多方面的含义和属性。许多学者出于各种研究的需要,从不同的侧面和研究的重点,对智能作出了各种定义和描述。归纳这些定义和描述,智能一词可定义如下。

**定义 1-1** 智能是指个体对客观事物进行合理分析、判断,及有目的的行动和有效地处理周围环境事宜的综合能力。

从智能的定义可知,智能包括如下四个方面的能力。

(1) 感知能力。感知能力指人们通过视觉、听觉、触觉、味觉、嗅觉等感觉器官感知外部世界的的能力。感知是人类最基本的生理、心理现象,是获取外部信息的基本途径,人类的大部分知识都是通过感知获取有关信息,然后经过大脑加工获得的。没有感知,就不可能获得知识,没有知识,也就不可能引发各种各样的智能活动。因此,感知是产生智能活动的前提与必要条件。

(2) 记忆与思维能力。记忆与思维能力是人脑最重要的功能,也是人具有智能的根本原因,如理解、推理、形成概念等。记忆用于存储由感觉器官感知的外部信息以及由思维产生的知识;思维用于对记忆的信息进行处理,即利用已有的知识对信息进行分析、计算、比较、判断、推理、联想、决策等。思维是一个动态过程,是获取知识以及运用知识求解问题的根本途径。

(3) 学习能力及自适应能力。学习是人的本能,每个人都在随时随地地进行着学习,既可能是自觉的、有意识的学习,也可能是不自觉的、无意识的学习;既可以是有教师指导的学习,也可以是通过自己实践的学习。总之,人人都在通过与环境的相互作用,不断地进行学习,并通过学习获取知识、积累知识、增长才干,适应环境的变化,充实、完善自己。只是各人所处的环境不同,条件不同,学习的效果也不相同,表现出不同的智能差异。

(4) 适当的反应和行为能力。对于外界的刺激,人们通常都会用语言或表情、眼神及形体动作做出反应、传达信息,这种能力称为行为能力或表达能力。如果能把人们的感知能力看做信息的输入,则行为能力就是信息的输出,它们都受到神经系统的控制。

智能这个词往往被人误解,例如,当谈及某人做什么事时,习惯用该词表示不寻常的

创造能力和聪明程度。结果,人们对 AI 期望过高,似乎是一个能产生非凡的聪明与洞察力及创造力的技术。事实上,当前 AI 最感兴趣的问题是试图复制“普通人的智能”,如问题求解、视觉和自然语言能力等。目前研制的很多 AI 系统已初步达到该目标。但怎样判定一个系统(机器)是否具有智能?这是一个十分复杂而有用的问题。智能模拟的先驱者,英国数学家图灵(A. M. Turing)在 1950 年提出的智能测试方法,即著名的图灵测试,从理论上揭示了智能不是什么“玄乎”的东西,而是可以测试、可以度量、可以模拟的,从而为开展 AI 研究打开了城堡之门。

### 1.2.2 AI

根据图灵测试理论,如果机器能够自主地执行需要具有人类智能才能完成的任务,就可以认为机器具有某种性质的 AI。由此可知,AI 一词从字面上来说,其定义和内涵是非常清楚的。但由于“智能”一词本身没有清晰的定义和内涵界定,因此不同的学者在不同层面给 AI 以不同的定义。美国 AI 学会给出的 AI 的定义如下。

**定义 1-2** AI 是研究思维和智能行为的机制并将它们赋予机器的一种科学认识。

本质地讲,AI 是研究怎样让计算机模仿人脑从事推理、规划、设计、思考、学习等思维活动,解决需人类智能才能处理的复杂问题的技术。实际上,AI 理论是计算机学科中涉及研究和应用智能理论的一个分支,它的目标在于使用机器来模拟和执行人脑的某些智力功能,并开发相关的理论和技术。

在 AI 定义中,实际上存在强与弱两种发展目标。

(1) 强 AI,即期望让机器具有像人一样的思考和行为的机制,这是 AI 研究的最高目标。对此,首先要回答诸如“大脑的意识是什么?”“计算机能够有自觉性和意识吗?”“人脑的思维推理过程的机械化?”等问题,这涉及认知科学、心理学、生物学等相关学科对人类的意识、思维等与智能有关的行为的生物学和认知科学的机制和规律的认识。

(2) 弱 AI,即期望让机器成为一种合理地、有效地模拟人的思考和行为的工具,这是 AI 研究的现实目标。在这里,首先是基于数学、心理学、计算机科学等相关学科的知识,求解需要人的感知和思维才能回答的“怎么做?”“如何做?”等问题。

目前,由于科学的发展还未能对智能的本质给出更好的回答,因此上述定义仅对 AI 研究的主要方面及目标作了界定,未能清楚的回答 AI 的本质和内涵。此外,我们通常认为那些复杂的计算需要人的智能,但 AI 研究者很少把这些计算列入 AI 的领域,而常常以问题求解、推理和博弈等活动来说明 AI 的某些特征。

AI 的研究源于数理逻辑、计算思想与技术的发展。始于 17 世纪的数理逻辑是基于数理工具进行逻辑思维与推理的学科,其基本思想是把形式逻辑符号化,从而使“思维规律”形式化和机械化,能对人的思维进行运算和推理。19 世纪以来,英国数学家巴贝吉(C. Babbage)提出具有现代计算机特征的通用计算机系统,1937 年图灵提出的“可计算数学”的概念,1945 年冯·诺依曼(J. Von Neumann)提出的存储程序概念和计算机系统的冯·诺依曼结构等计算思想,构成了计算机科学的基础。1946 年美国宾夕法尼亚大学研制成功第

一台电子计算机 ENIAC,更是揭开了计算技术迅猛发展的篇章。数理逻辑、计算思想与技术的发展直接催生了 AI 的研究与发展。

1956 年夏,在美国达特茅斯大学,麦卡锡(J. McCarthy)、明斯基(M. L. Minsky)、朗彻斯特(N. Lochester)、香农(C. E. Shannon)、莫尔(T. More)、塞缪尔(A. Samuel)、纽厄尔(A. Newell)和西蒙(H. Simon)等 AI 研究的先驱们举办为期两个月的研讨会,认真并激烈地讨论了机器模拟人类智能的问题,首次提出了“人工智能”这一术语,正式宣告 AI 这一学科的诞生。

早期的 AI 研究着重于研究问题求解的方法和技术,如启发式搜索、定理证明、语言翻译等。由于忽视了问题求解中“知识”的作用和机器本身对问题和环境的理解,AI 研究在 20 世纪 60 年代陷于发展的平台期。

20 世纪 60 年代末,以有机结合问题领域的相关知识(尤其是专家的经验 and 求解技巧)与 AI 求解方法的专家系统以其实用性得到迅速发展,AI 进入了视知识为智能的基础、AI 到了关于知识的科学的知识工程时代,其成果迅速走向各应用领域。

目前,AI 研究再次处于发展平台期,困扰其发展的为常识(公共知识)的运用、深层知识的表示、知识的自动获取、机器理解等。

### 1.2.3 计算智能

传统 AI 主要是基于符号逻辑推理与图搜索技术的问题求解理论与方法,其“智能”是对问题求解过程的一种逻辑思维的模拟,但与智能的作用机制,如大脑中神经网络获取环境的感知信号、神经信号处理、意识产生、知识获取中的生物机制等,关联程度不高。此“智能”不仅并非彼“智能”的全部,而且也许只是通向彼“智能”的一条蜿蜒小道。智能,尤其是作为智能的标杆的人类智能,还蕴涵了许多人类目前不能明晰的东西,因此研究与模拟智能的形成和作用的机制是通向彼“智能”的一条宽阔大道。因此,20 世纪 80 年代以来,计算智能在基于符号逻辑的传统 AI 研究处于其发展平台期时得到迅速发展,成为智能理论研究的一个新兴的、值得期许的分支。

与计算智能这一新分支研究的范畴几乎重叠的还有软计算、智能计算和自然计算。计算智能一词是由美国学者贝兹德克(J. Bezdek)于 1992 年首次提出的,而软计算一词是由模糊数学之父扎德(A. Zadeh)首先提出的。由于它们有颇多的共性,因此这四个研究领域现在多被视为一个领域。

计算智能目前处于发展之初期阶段,因此没有也没有必要给出一个限制过于严格的定义,从计算智能研究的内容与范畴,可以定义如下。

**定义 1-3** 计算智能是通过对自然界智能的作用机制的研究和模拟,对从感知获取的底层数据材料进行加工处理以获取知识及求解问题的方法,属智能理论的新分支。

虽然都是研究智能方法及其“人工制品”的学科,但计算智能的研究范畴、内容和方法与传统 AI 不尽相同。计算智能与传统 AI 的主要区别在于:计算智能重在对自然界智能的作用机制的研究和模拟,探讨智能的形成及其作用的机制,而传统 AI 重在对智能的功能



作用的模拟;计算智能方法处理的多为与自然界生物感知器官的感知信号类似的原始、底层数据材料,而传统 AI 方法处理的多为模式与符号。

计算智能领域致力于探讨自然界及生物界在演变、进化过程中,其信息处理与问题求解中体现出的智能行为与智能属性。自然界及生物界研究对象的多样性,各种智能行为与智能属性的多面性与复杂性,导致目前计算智能领域所研究的自然及生物对象的智能行为与智能属性呈现百花齐放的局面,产生了相对共性较少的不同的计算智能方法。计算智能领域目前还未能建立共同的基础理论和研究平台,还处于百家争鸣的阶段。

目前,计算智能的主要研究的领域及其特点如下。

(1) 人工神经网络(ANN)。主要针对学习问题与优化问题,适用于符号空间与数值空间问题。

(2) 进化计算。主要针对优化问题,尤其是非连续可微函数的优化问题,可以较大概率求得全局解。

(3) 模糊逻辑。主要针对由于人的认识与语言表达上的信息与知识的不确定性的新型数学方法。

(4) 概率推理。主要基于贝叶斯(Bayes)全概率公式进行基于概率的近似逻辑推理以及在线学习,是一种非常有效的处理不确定性问题的推理方法和学习方法。

(5) 模拟退火。主要基于金属热处理技术的淬火过程中,控制其温度下降过程以获得金属材料期望的力学性能的机理,而提出的一种模拟自然智能的全局优化方法。

(6) 粗糙集。粗糙集理论是近年才兴起的用于研究不精确、不确定性知识的学习、表达、归纳的方法,并逐渐成为机器学习与数据挖掘领域的主要方法。粗糙集理论通过引入不可分辨的关系、等价类、上近似、下近似等概念考察知识表达中不同属性的重要性,来确定哪些属性是冗余的,哪些属性是必不可少的,删除冗余属性进而简化知识的表达空间,最终能从数据中挖掘出规则来。它的理论核心是基于知识源于对对象分类这一思想,通过分类找出属性间的关联规则。

(7) 人工生命。主要探讨用人工方法研究与模拟生物个体、种群及社会,着重关注个体的智能与生活习性的人工模拟和实现,以及由大量个体组成的生物种群、多个生物种群组成的社会所体现出的社会性。

(8) 混沌系统。主要研究具有混沌现象的复杂非线性动力学系统的分析与控制,以及对自然现象的模拟。

(9) DNA 计算。DNA 计算是利用作为生命基础的生物大分子 DNA 的双螺旋结构和碱基互补配对规律进行信息编码,将要运算的对象映射成 DNA 分子链,通过生物酶的作用,生成各种数据池,再按照一定的规则将原始问题的数据运算高度并行地映射成 DNA 分子链的可控的生化反应过程,最后,利用分子生物技术检测所需要的运算结果的理论。DNA 计算的特点在于其高度并行性。

(10) 量子计算。量子计算对一个或多个量子位元或量子三元以上进行操作,探讨的是计算过程中诸如自由能、信息可逆性之间的关系,以达到具有量子特性的演算功能。量子