

# 智能控制

## 理论及实现方法研究

ZHINENG KONGZHI LILUN JI SHIXIAN FANGFA YANJIU

鲁艳旻 著



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

# 智能控制 理论及实现方法研究

鲁艳旻 著



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

• 北京 •

## 内 容 提 要

本书面向智能控制技术发展前沿,基于近年来国内外智能控制技术的研究成果,从工程应用的角度出发,系统地论述了智能控制理论及实现的方法与技术。

本书重点阐述了基于模糊理论的智能控制、基于神经网络的智能控制、专家系统与仿人智能控制等内容。

本书结构合理,条理清晰,内容丰富新颖,可供从事智能控制研究与应用的科技工作者参考使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

智能控制理论及实现方法研究/鲁艳旻著. —北京:  
中国水利水电出版社, 2019. 1  
ISBN 978-7-5170-7473-1

I. ①智… II. ①鲁… III. ①智能控制—方法研究  
IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 031141 号

|      |                                                                                                                                    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 书 名  | 智能控制理论及实现方法研究<br>ZHINENG KONGZHI LILUN JI SHIXIAN FANGFA YANJIU                                                                    |
| 作 者  | 鲁艳旻 著                                                                                                                              |
| 出版发行 | 中国水利水电出版社<br>(北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038)<br>网址:www. waterpub. com. cn<br>E-mail:sales@waterpub. com. cn<br>电话:(010)68367658(营销中心) |
| 经 售  | 北京科水图书销售中心(零售)<br>电话:(010)88383994、63202643、68545874<br>全国各地新华书店和相关出版物销售网点                                                         |
| 排 版  | 北京亚吉飞数码科技有限公司                                                                                                                      |
| 印 刷  | 三河市华晨印务有限公司                                                                                                                        |
| 规 格  | 170mm×240mm 16 开本 13.5 印张 242 千字                                                                                                   |
| 版 次  | 2019 年 4 月第 1 版 2019 年 4 月第 1 次印刷                                                                                                  |
| 印 数  | 0001—2000 册                                                                                                                        |
| 定 价  | 65.00 元                                                                                                                            |

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 前 言

智能控制是在人工智能与自动控制等多学科基础上发展起来的新兴学科,它通过研究与模拟人类智能活动及控制与信息传递过程的规律,解决那些用传统方法难以解决的、复杂系统的控制问题。智能控制是对多种学科、多种技术和多种方法的高度综合集成,擅长解决非线性、时变等复杂的控制问题,是控制理论发展的高级阶段。目前,智能控制技术已经进入了工程化、实用化的阶段,取得了十分可喜的成果。我们有理由相信,未来随着人工智能技术的迅速发展,智能控制必将迎来它的发展新时期。

本书对智能控制的有关理论及实现方法展开系统性的研究,全书内容共分7章:第1章在概括自动控制的基本问题及挑战的基础上,引出了智能控制的概念,并简要讨论了智能控制的研究内容、系统分类、理论体系、应用现状及发展方向;第2章分析讨论了基于模糊理论的智能控制,内容主要包括模糊集合及其运算、模糊关系、模糊逻辑、模糊推理、模糊控制器的原理及设计实例、自适应模糊控制等;第3章分析讨论了基于神经网络的智能控制,内容主要包括人工神经元模型、神经网络的定义和特点、典型神经网络模型、基于神经网络的系统辨识、基于神经网络的智能控制、神经PID控制、神经控制系统的设计及应用实例等;第4章分析讨论了专家系统与仿人智能控制;第5章分析讨论了递阶智能控制与学习控制;第6章分析讨论了几类典型的智能优化方法,内容主要包括遗传算法、粒子群优化算法、蚁群优化算法、人工免疫算法、分布估计算法等;第7章主要讨论了复合智能控制及智能控制和智能优化的融合。全书对智能控制的基本概念、基本原理以及实现方法进行了提炼,力求使内容少而精,并分析了许多智能控制系统的设计实现方法及应用实例。既具有一定的学术价值,又具有一定的实用价值。

在撰写本书的过程中,作者得到了同行业内许多专家学者的指导帮助,也参考了国内外大量的学术文献,在此一并表示真诚的感谢。作者水平有限,加之智能控制是当今最热门的学科之一,各种新理论、新技术、新方法不断涌现,已有理论也在不断更新,书中难免有不足之处,真诚希望有关专家和读者批评指正。

作 者

2018年7月

# 目 录

## 前言

|                     |    |
|---------------------|----|
| 第 1 章 从传统控制到智能控制    | 1  |
| 1.1 自动控制的基本问题       | 1  |
| 1.2 智能控制的产生         | 3  |
| 1.3 智能控制的基本概念与研究内容  | 4  |
| 1.4 智能控制系统          | 6  |
| 1.5 智能控制的学科结构理论体系   | 14 |
| 1.6 智能控制系统应用现状及研究方向 | 17 |
| 第 2 章 基于模糊理论的智能控制   | 22 |
| 2.1 模糊控制概述          | 22 |
| 2.2 模糊集合及其运算        | 23 |
| 2.3 模糊关系            | 25 |
| 2.4 模糊逻辑与模糊推理       | 28 |
| 2.5 模糊控制的原理及模糊控制器   | 33 |
| 2.6 模糊控制器的设计与实现实例   | 35 |
| 2.7 自适应模糊控制         | 47 |
| 第 3 章 基于神经网络的智能控制   | 53 |
| 3.1 生物神经元与人工神经元模型   | 53 |
| 3.2 神经网络的定义和特点      | 56 |
| 3.3 典型神经网络模型        | 56 |
| 3.4 基于神经网络的系统辨识     | 64 |
| 3.5 基于神经网络的智能控制     | 67 |
| 3.6 神经 PID 控制       | 69 |
| 3.7 神经控制系统的设计及应用实例  | 70 |
| 第 4 章 专家系统与仿人智能控制   | 80 |
| 4.1 专家系统基础          | 80 |

|      |                     |     |
|------|---------------------|-----|
| 4.2  | 专家系统的知识表示方法         | 81  |
| 4.3  | 专家系统的自动推理机制         | 86  |
| 4.4  | 专家控制系统的结构及原理        | 88  |
| 4.5  | 专家控制系统的设计与应用实例      | 93  |
| 4.6  | 专家系统开发工具            | 98  |
| 4.7  | 一种仿人智能控制            | 102 |
| 4.8  | 仿人智能控制的多种模式         | 108 |
| 4.9  | 仿人智能控制系统的设计与应用实例    | 116 |
| 第5章  | 递阶智能控制与学习控制         | 127 |
| 5.1  | 递阶智能机器的一般理论         | 127 |
| 5.2  | 递阶智能控制系统的结构与原理      | 131 |
| 5.3  | 递阶智能控制系统应用实例        | 139 |
| 5.4  | 学习控制方案              | 141 |
| 5.5  | 基于规则的自学习控制系统        | 146 |
| 第6章  | 智能优化方法              | 151 |
| 6.1  | 智能优化算法概述            | 151 |
| 6.2  | 遗传算法                | 153 |
| 6.3  | 粒子群优化算法             | 158 |
| 6.4  | 蚁群优化算法              | 161 |
| 6.5  | 人工免疫算法              | 168 |
| 6.6  | 分布估计算法              | 175 |
| 第7章  | 复合智能控制及智能控制和智能优化的融合 | 182 |
| 7.1  | 复合智能控制概述            | 182 |
| 7.2  | 模糊控制与神经网络的结合        | 184 |
| 7.3  | 专家模糊复合控制器           | 185 |
| 7.4  | 自学习模糊神经控制系统         | 189 |
| 7.5  | 进化模糊复合控制器           | 194 |
| 7.6  | 基于免疫克隆优化的模糊神经控制器    | 199 |
| 参考文献 |                     | 204 |

# 第 1 章 从传统控制到智能控制

传统控制是基于模型的控制,随着被控对象的复杂化,越来越难以用精确的数学模型来描述高度的非线性、强噪声干扰、复杂的信息结构,分散的传感元件与执行元件,分层和分散的决策机构以及动态突变性等。另外,控制过程中的诸多不确定性也难以用精确的数学模型来描述。面对这些复杂对象的控制问题,人们开创性地将人工智能应用到了控制理论之中,发展出了智能控制理论。该理论是对计算机科学、人工智能、知识工程、模式识别、系统论、信息论、控制论、模糊集合论、人工神经网络、进化论等诸多科学技术与方法的高度集成,对于解决复杂系统的控制问题具有十分重要意义,是控制理论发展的重要方向之一。作为本书研究的开始,本章将简要介绍智能控制的产生背景、基本概念、发展历程、学科结构理论体系、应用现状及研究方向,为全书的研究奠定基础。

## 1.1 自动控制的基本问题

### 1.1.1 自动控制的概念、目的及要求

所谓控制,就是控制(调节)可支配的自由度(调节变量)使系统(对象或过程)达到可接受的运行状态。

自动控制是指在无人参与的情况下,利用控制装置使被控对象按期望的规律自动运行或保持状态不变。例如,利用离心球对蒸汽机速度的控制;浮球机构对水箱水位的控制;对卫星、飞船、空间站、空天飞机等航天器飞行轨道与姿态的精确控制等。在科学技术高度发达的今天,从家用空调、冰箱的温度控制,到工业过程控制,再到现代武器系统、运载工具及深空探测器等,都离不开自动控制。

被控对象期望的运行规律通常称为给定信号(输入信号),一般分为三类:一是阶跃信号,即给定一个常值信号,使被控对象的输出保持某常值或某状态不变;二是斜坡信号,是被控对象的输出跟踪给定的斜坡信号;三是

任意变化的信号,如斜坡信号和阶跃信号的任意组合,或正弦周期信号等。

自动控制系统根据输入为阶跃信号、斜坡信号和任意信号三种基本形式,分别称为自动调节系统(自动调整系统、恒值调节系统)、随动系统(跟踪系统、伺服系统)和自动控制系统,统称它们为自动控制系统。

人们期望通过自动控制不断地减轻人的体力和脑力劳动强度,提高控制效率和控制精度,提高劳动生产率和产品质量;通过远离危险对象进行遥控实现自动化。总之,通过自动控制可以实现自动化,实现机器逐步代替人的智力,走向智能自动化。

人们总是期望在输入信号的作用下,使被控对象能快速、稳定、准确地按预定的规律运行或保持状态不变。即使在有干扰和被控对象参数变化的不利情况下,控制作用仍能保持系统以允许的误差按预定的规律运行。因此,可以把对自动控制的基本要求概括为快速性、稳定性和准确性,简而言之就是“快、稳、准”。

### 1.1.2 控制理论应用面临的新挑战

在控制理论建立之初,只能适用于单变量常系数线性系统,是一种单回路线性控制理论,所涉及的数学模型比较简单,所用到的基本分析和综合方法也比较简单,主要是基于频率法和图解法。后来,随着计算机技术的飞速发展,现代控制理论逐步形成并发展了起来。与经典控制理论相比,现代控制理论具有如下重要特点:

(1)控制对象的结构发生转变。即现代控制的被控对象的结构由经典控制的单回路模式转变成了多回路模式。换句话说,经典控制系统是单输入、单输出的,而现代控制则转变成了多输入、多输出。

(2)研究工具的转变。主要包括:①经典控制的研究工具一般是积分变换法和频率法,而现代控制则更偏向于矩阵理论、几何方法、状态空间等方面的研究。②经典控制主要基于手工计算,而以现代计算机技术为基础的现代控制则主要依赖于计算机计算。

(3)建模手段的转变。经典控制主要基于系统的内在机理进行建模,而现代控制则主要采用统计的方法建模,建模过程主要应用统计学理论中的参数估计与系统辨识等理论。

自从控制理论诞生以来,在信息、航天、工业等方面得到了十分广泛的应用。随着各应用领域技术升级,对控制理论提出了更高的要求,控制理论必须为各应用领域更复杂的系统提供更有效的控制策略。通常大型复杂的系统包括多种复杂设施,如柔性机器人系统、空间飞行系统、计算机集成



制造系统、工业生产系统等。由于其特征及运行行为上的复杂性,这些大型系统一般既存在多模式集成与控制策略等方面的复杂性,又存在由不确定性引起的复杂性。对于这类系统,一般既要对其进行相对独立的研究和设计,又必须根据具体的工程实际对其进行研究和修正,以保证其性能及集成有效性。另外,对于非线性系统、具有柔性结构的系统、鲁棒性系统以及离散事件动态系统等,也必须采用类似的研究和设计方法。就目前的研究进展情况来看,控制理论虽然对上述复杂性系统进行了不少探索,但研究成果十分有限。究其原因,主要是目前主流的数学工具在这些大型复杂系统面前显得“力不从心”,故而无法找到合适的数学模型对这些复杂系统加以描述。这将是未来相当长的一段时间里控制理论面临的主要挑战,而应对这一挑战的主要途径就是将人工智能引入控制理论,发展智能控制。

## 1.2 智能控制的产生

随着控制理论及其相关应用领域的变革,控制对象日趋复杂化,控制目标日趋精准化,传统的数学工具与分析方法逐渐显得力不从心。大量的事实证明,传统的控制理论与方法无法解决被控对象复杂、控制环境多变而且控制任务繁重的控制系统的控制问题。究其原因,主要包括如下几个方面:

(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的过程中,往往进行了一定的简化,导致了某些信息的丢失。在高新科技的推动下,很多复杂系统已经无法使用数学语言来设计和分析,必须用工程技术语言来描述,故而寻求新的描述方法成为一种必然选择。

(2)在应对控制对象的复杂性以及不确定性方面,现代控制理论虽然也具备一定的能力,但这种能力十分有限。例如,自适应控制适合于系统参数在一定范围内的缓慢变化情况,鲁棒(Robust)控制区域也是很有限的。然而对于实际的工业过程控制,其数学模型往往具有十分显著的不确定性,而被控制对象也往往具有非常严重的非线性,同时系统的工作点也往往存在着剧烈的变化。利用自适应和鲁棒控制处理这些复杂的控制问题时,往往存在难以弥补的缺陷,故而寻求新的控制技术和方法成为了人们的必然选择。

(3)现代复杂系统往往集视觉、听觉、触觉、接近觉等为一体,即将周围环境的图形、文字、声音等信息作为直接输入,并将这些信息融合,进而完成分析和推理。这就要求现代控制系统必须能够适应周围环境和条件的变化,并且相应地作出合适的判断、决策以及行动。面对这些新要求,传统控

制理论和方法基本上无能为力,必须采用具有自适应、自学习和自组织功能的新型控制系统,故而研究开发新一代的控制理论和技术是唯一的途径。

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。人类的直觉和经验具有十分强大的能动性,大量的事实表明,利用人类的直觉和经验往往可以很好地操作一些复杂的系统,并且得到的结果也比较理想。基于此,控制科学家们研究并发展了一种仿人的控制论,智能控制正是由此而萌芽的。当然,仅仅通过模仿人类的直觉和经验完成对复杂系统控制的方法具有一定的局限性,要想对更多、更复杂的系统进行控制,智能控制还必须具备模拟人类思维和方法的能力。

通过上述关于智能控制产生背景的讨论可知,智能控制主要是人们为了更好地解决对复杂控制系统的控制问题而研究并发展起来的,它可以被视作自动控制的“升级版”。图 1-1 为控制科学的发展过程框架图。

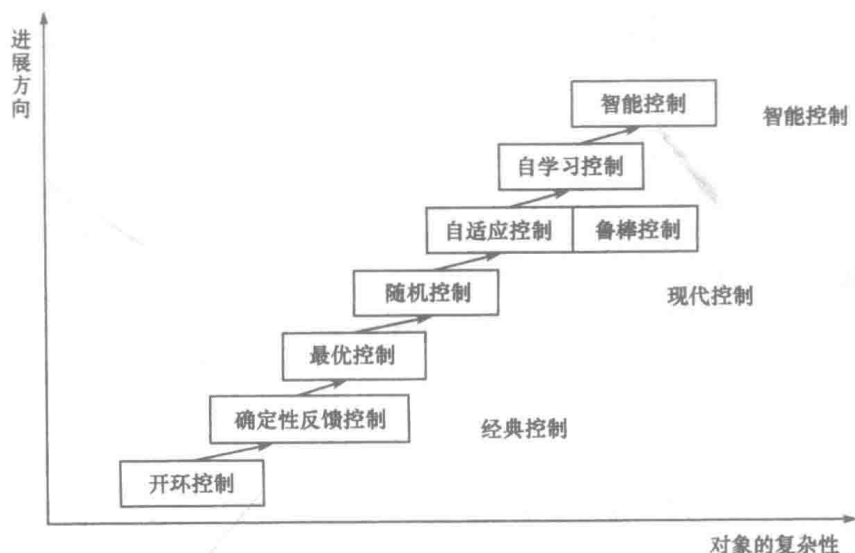


图 1-1 控制科学的发展过程

## 1.3 智能控制的基本概念与研究内容

### 1.3.1 智能与智能控制的定义

智能控制是一门新兴学科,从“智能控制”这个术语于 1967 年由利昂兹等人提出后,到现在还没有统一的定义,IEEE 控制系统协会将其总结为“智能控制必须具有模拟人类学习(Learning)和自适应(Adaptation)的能

力”。以下两点是对智能控制和智能控制系统的粗略概括:

(1)智能控制是智能机自动地完成其目标的控制过程。其中智能机可在熟悉或不熟悉的环境中自动地或人机交互地完成拟人任务。

(2)由智能机参与生产过程自动控制的系统称为智能控制系统。

定性地讲,智能控制应具有学习、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;能够有效地处理各种信息,以减小不确定性;能够以安全和可靠的方式进行规划、生产和执行控制动作,从而达到预定的目标和良好的性能指标。

总之,智能控制是一个新兴的研究领域,智能控制学科建立才几十年,仍处于青年期,无论在理论上或实践上它都还不够成熟,不够完善,需要进一步探索与开发。研究者需要寻找更好的新的智能控制理论,对现有理论进行修正,以期使智能控制得到更快更好的发展。

### 1.3.2 智能控制的常见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。进一步研究智能控制中的被控制对象的基本特征可以发现,智能控制的基本研究内容应当主要包括以下几个方面:

(1)深入研究感知、判断、推理、决策等人类思维活动的内在机理,即对人类自身的认知世界展开探索。

(2)进一步完善智能控制系统的基本结构,并对其进行合理分类,尽可能地多个层次上寻求智能控制系统的结构模型以及与其相关的学习、自适应、自组织等功能的数学描述。

(3)智能控制所面对的复杂系统往往是由机理模型和实验数据所建立的动态系统,具有极强的不确定性,智能控制必须具备一套行之有效的技术或方法,对这类系统进行辨识、建模和控制。

(4)实时专家控制系统的技术方法。

(5)对于智能控制系统而言,其结构与稳定性是十分重要的,故而必须研究建立一套有效的系统结构分析方法与系统稳定性分析方法。

(6)在智能控制系统中,模糊逻辑、神经网络和软计算具有十分重要的地位,必须在这些方面展开系统性的研究,发展出有效的技术与方法。

(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)发展智能控制的根本目的在于应用,必须针对其应用领域展开研究,尤其是在工业过程和机器人等方面。

1.4 智能控制系统

1.4.1 智能控制系统的基本结构

目前,已经提出了很多种有关智能控制系统的结构,但真正实现的还为数不多。图 1-2 为智能系统的一般结构示意图。

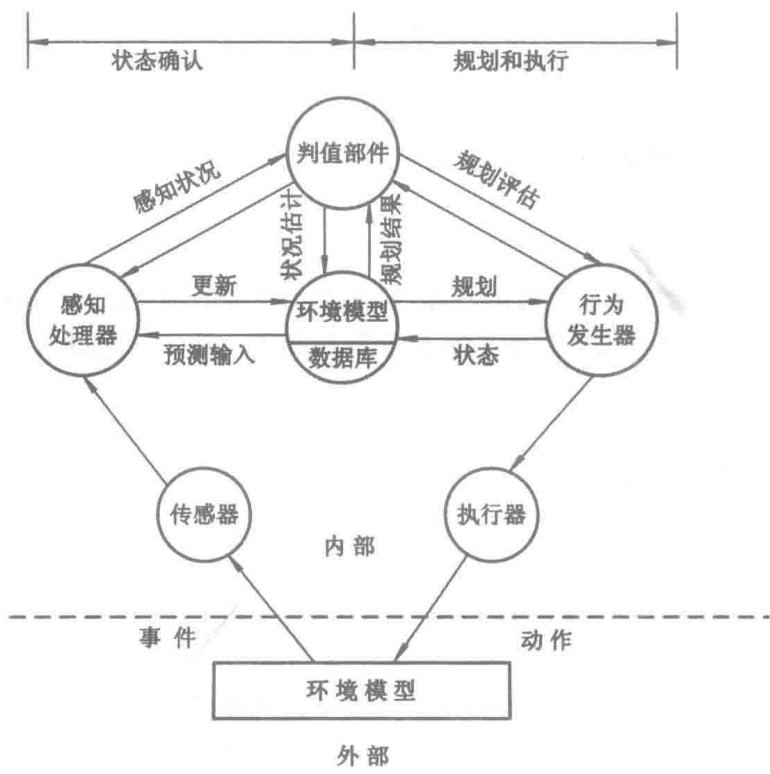


图 1-2 智能系统的一般结构

通过图 1-2 可以看出,智能系统一般由六个部分组成,即执行器、感知处理器、环境模型、判值部件、传感器和行为发生器。图中箭头表示了它们之间的关系。一般地,机器执行器有电机、定位器、阀门、线圈以及变速器等,自然执行器就是人类的四肢、肌肉和腺体;自然传感器就是身、眼、口、鼻等器官,人工传感器有红外检测器、摄像机、各种电信号检测仪、机械力学检测器等;感知处理器也叫感知信息处理器,它将传感器观测到的信号与内部的环境模型产生的期望值进行比较,还包括语音识别以及语言和音乐的解

释,它可以与环境模型和判值系统进行交互,把值赋给认识到的实体、事件和状态;环境模型是智能系统对环境状态的最佳估计,该模型包括有关环境的知识库、存储与检索信息的数据库及其管理系统等;判值部件决定好与坏、奖与罚、重要与平凡、确定与不确定。由判值部件构成的判值系统,估计环境的观测状态和假设规划的预期结果;行为发生器负责产生行为,它选择目标、规划和执行任务。

在一般情况下,智能系统的结构具有递阶形式。图 1-3 给出了系统结构的重复和分布关系。它是一个具有逻辑和时间性质的递阶结构。图 1-3 的左边是组织递阶结构,此处计算结点按层次排列,犹如军队组织中的指挥所。组织递阶层的每一节点包含四种类型的计算模块:行为发生(BG)、环境模型(WM)、感知信息处理(SP)和判值模块(VJ)。组织递阶层次中的每一个指挥环节(结点),从传感器和执行器到控制的最高层,可以由图中间的递阶来计算。在每一层,节点以及节点内的计算模块由通信系统紧密地互相连接,每一节点内通信系统都提供了图 1-3 所示的模块间通信。查询与任务状况的检查由 BG 模块到 WM 模块进行通信;信息检索由 WM 模块返回 BG 模块进行通信;预测的传感数据从 WM 模块送到 SP 模块;环境模型的更新从 SP 模块到 WM 模块进行;观测到的实体、事件和情况由 SP 模块送给 VJ 模块。这些实体、事件和情况构成环境模型,要赋以一定的值,它由 VJ 模块送到 WM 模块;假设的规划由 BG 模块传至 VJ 模块;估计由 VJ 模块返回到假设规划的 BG 模块。

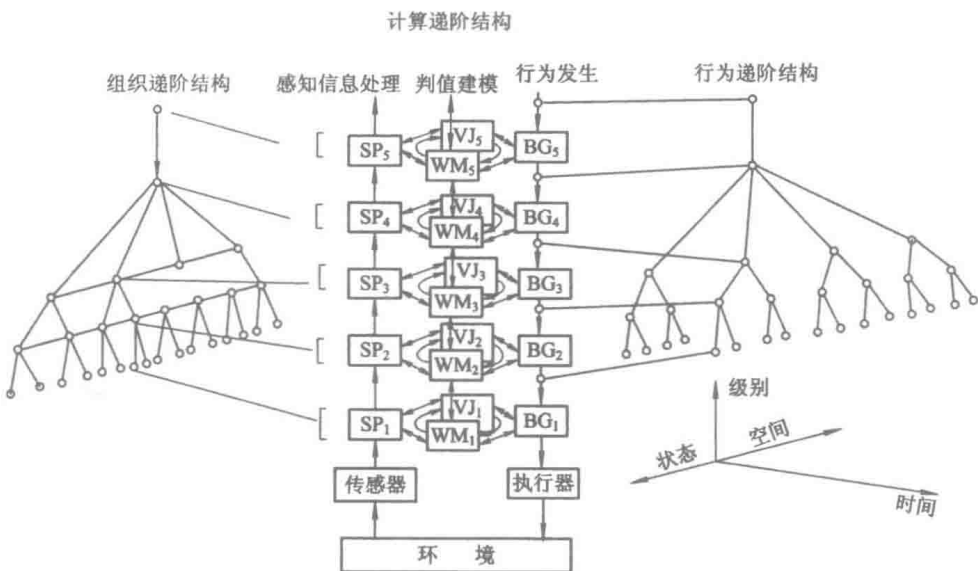


图 1-3 递阶智能系统结构

通信也在不同级别的节点间进行。命令由上级监控 BG 模块向下传送到

下级从属的 BG 模块。状态报告通过环境模型向上由较低级的 BG 模块传回到发命令的高一级监控 BG 模块。在某一级上由 SP 模块所观测到的实体、事件和状况向上送到高一级的 SP 模块。存储在较高级 WM 模块的实体、事件和状况的属性,向下送到较低级上的 WM 模块。最低级 BG 模块的输出传送到执行器驱动机构。输入到最低级的 SP 模块的信号是由传感器提供的。

通信系统可按各种不同的方法来实现。在人工系统中,通信功能的物理实现可以是计算机总线、局部网络、共享存储器、报文传输系统或几种方法的组合。输入到每一级上的每一个 BG 模块的命令串,通过状态空间产生一个时间函数的轨迹。所有命令串的集合,建立了一个行为的递阶层。执行器的输出轨迹相应于可观测的输出行为,在行为的递阶层中所有其他轨迹构成了行为的纵深结构。

智能系统,尤其是人类活动这种高级的智能系统,其过程是非常复杂的。不仅总系统呈递阶结构,BG 模块、WM 模块、SP 模块和 VJ 模块以及传感器、执行器,它们本身也还存在着许多子结点或子系统。图 1-3 所示的递阶结构,其中每一个结点都可以与智能行为发生过程中机体的不同部位相对应。

以行为发生(BG 模块)的递阶层为例,它的功能是将任务命令分解成子任务命令。其输入是由上一级 BG 模块来的命令和优先级信号,加上由附近 VJ 模块来的估值,以及由 WM 模块来的有关外界过去、现在和将来的信息所组成的。BG 模块的输出则是送到下一级 BG 模块的子任务命令和送到 WM 模块的状态报告,以及关于外界现在和将来“什么”和“倘使……怎么样”的查询。

任务和目标的分解常常具有时间和空间特性。例如,在 BG 模块的第一级,躯体部件(如手臂、手、指头、腿、眼睛、躯干以及头)的速度和力的协调命令被分解成为单个执行器的运动命令,反馈修正各执行器的位置、速度和力。对于脊椎动物,这一级是运动神经元和收缩反射。第二级是将躯体部件的调遣命令分解成平滑的、受协调的动态有效轨迹,反馈修正受协调的轨迹运动,这一级就是脊髓运动中枢和小脑。第三级是将送到操纵、移动和通信子系统的命令分解成许多避免障碍和奇异的无冲突路径。反馈修正相对于环境中物体表面的运动,这一级就是红核、黑质和原动皮层。第四级是将个体对单独对象执行简单任务的命令分解成躯体移动、操纵和通信子系统的协调动作,反馈激发系统动作并将其排序,这一级就是基神经节和动额前皮层。第五级是将相对于小组其他成员的智能个体自身的行为命令分解成自身和附近对象或物体之间的交互作用,反馈激发和驾驭整个自身任务的活动。行为发生的第五级和第五级以上都假想为处于暂态的额前和皮质缘区域。第六和第七级涉及组间与更长时间范围内的活动,这里不再细述。

总之,以上是对智能系统一种抽象和概念性的描述,从总体上阐述智能系统(包括低级动物和人类)活动的内在机理。由于实际存在的智能系统往往十分复杂,人们至今对它还缺乏深入了解,未能掌握其规律和实质,所以图 1-2 和图 1-3 所示的智能结构也只是一种猜想和较合理的解释,更精确的模型有待于更深入的研究。

## 1.4.2 智能控制系统的分类

分类学与科学技术学科的分类问题,本是十分严谨的学问,但对于一些新学科却很难确切地对其进行分类或归类。例如,至今多数学者把人工智能看作计算机科学的一个分支;但从科学长远发展的角度看,人工智能更应该是智能科学的一个分支。智能控制也尚无统一的分类方法,目前主要按其作用原理进行分类。

### 1. 分级递阶智能控制系统

分级递阶智能控制是从工程控制论角度,总结人工智能、自适应、自学习和自组织的关系后逐渐形成的。分级递阶智能控制可以分为基于知识/解析混合的多层智能控制理论和基于精度随智能提高而降低的分级递阶智能控制理论两类。前者由意大利学者 A. Villa 提出,可用于解决复杂离散时间系统的控制设计;后者由萨里迪斯于 1977 年提出,它由组织级、协调级和执行级组成,如图 1-4 所示,各级的主要功能如下:

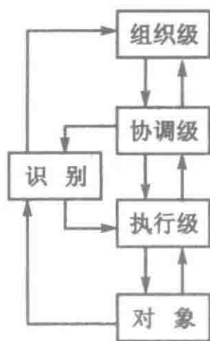


图 1-4 分级递阶智能控制结构

(1) 执行级。执行级一般需要被控对象的准确模型,以实现具有一定精度要求的控制任务,因此多采用常规控制器实现。

(2) 协调级。协调级是高层和低层控制级之间的转换接口,主要解决执行级控制模态或控制模态参数自校正问题。它不需要精确的模型,但需要具备学习功能,并能接受上一级的模糊指令和符号语言。该级通常采用人

工智能和运筹学的方法实现。

(3)组织级。组织级在整个系统中起主导作用,涉及知识的表示与处理,主要应用人工智能的方法。在分级递阶结构中,下一级可以看成上一级的广义被控对象,而上一级可以看成下一级的智能控制器,如协调级既可以看成组织级的广义被控对象,又可以看成执行级的智能控制器。

萨里迪斯定义了“熵”作为整个控制系统的性能度量,并对每一级定义了熵的计算方法,证明在执行级的最优控制等价于使用某种熵最小的方法。这种分层递阶结构的特点是:对控制而言,自上而下控制的精度越来越高;对识别而言,自下而上信息的反馈越来越粗糙,相应的智能程度也越来越高,即所谓的“控制精度递增伴随智能递减”。

### 2. 专家控制系统

专家系统是一种模拟人类专家解决问题的计算机软件系统。专家系统内部含有大量的某个领域的专家水平的知识与经验,能够运用人类专家的知识和解决问题的方法进行推理和判断,模拟人类专家的决策过程,来解决该领域的复杂问题。

专家控制系统是将人工智能与自动控制相结合进而开发出的一种智能控制系统,它以知识工程为基础,应用专家系统的有关技术与方法,模拟人类专家的系统控制经验与知识,进而实现对被控对象的控制。一般地,专家控制系统必须具备三大功能:首先,专家控制系统必须具有全面的专家系统结构;其次,专家控制系统必须具有完善的知识处理功能;最后,专家控制系统还必须具有实时控制的可靠性能。就目前的发展状况来看,专家控制系统大多采用黑板结构,配备有庞大的知识库,同时还具有复杂的推理机制。从系统结构上看,一个完整的专家控制系统由两个子系统组成,一个是知识获取子系统,另一个是学习子系统。由于这类系统既要向人类被动获取知识又要主动向人类学习知识,所以对人一机接口具有比较高的要求。图 1-5 给出了专家控制系统的基本原理示意图。

具体工业应用中的专家控制系统主要以工业专家控制器的形式存在,它主要针对具体的被控制对象过程进行控制。从结构上看,工业专家控制器是将专家控制系统简化而得到的控制器,它具有实时算法和逻辑功能。综合近些年的发展概况,工业专家控制器的知识库设计得较小,推理机制也相对简单,通常不需要人-机接口,一般侧重于启发式控制知识的开发。就应用现状来看,工业专家控制器凭借其结构简单、成本低廉、易于维护且能满足绝大多数的工业控制要求而获得了社会的高度认可,应用十分广泛。



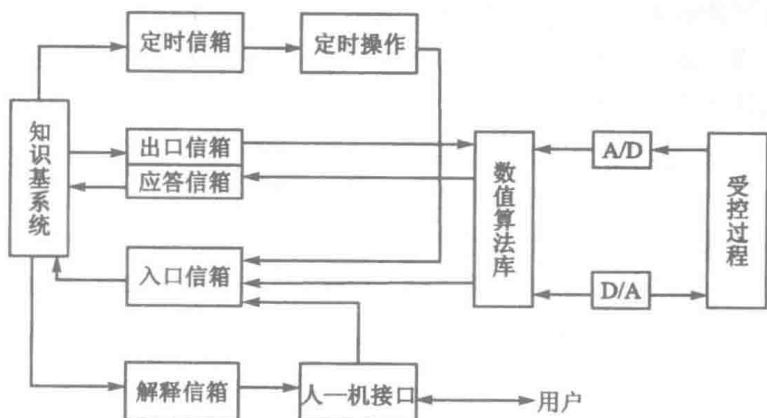


图 1-5 专家控制系统的基本原理示意图

### 3. 模糊控制系统

以人的经验和决策行为为基础,控制科学家们不仅研发出了专家控制系统,而且还采用模糊集合理论开发出了模糊控制系统。在这里,我们通过如下两个方面来简述模糊控制系统的有效性:

(1)模糊控制能够提供一种新机理,这种机理可以实现基于规则(或者称作基于知识)的控制规律,这种控制规律有的可以用语言来描述,有的则难以用语言描述。

(2)模糊控制能够提供全新的控制方法,用以替代改进非线性控制器。一般地,对于一些具有显著的不确定性和传统非线性控制理论难以控制的系统,常常需要利用改进非线性控制器来实现对其的控制,但是改进非线性控制器仍然具有很多的不足之处,模糊控制不仅可以很好地弥补这些不足,而且可以获得更好的控制效果。

图 1-6 为模糊控制器的一般结构示意图。通过图 1-6 可以看出,模糊控制器主要由 4 个功能模块组成,分别是模糊化、规则库、模糊推理和逆模糊化。

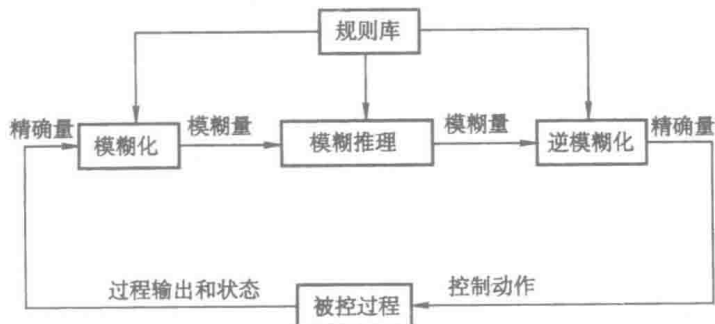


图 1-6 模糊控制器的一般结构