

神经网络模糊逻辑控制

余永权 编著

广东省自然科学基金资助项目

The Project Supported by GuangDong
Provincial Natural Science Foundation of China



電子工業出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

内 容 简 介

这是一本专门介绍模糊逻辑控制,神经网络控制以及神经模糊控制的专著。书中对这三种不同的控制方式的基础和原理作深入浅出的系统叙述。后者是前两种控制方式的结合,也是国内外研究的前沿热点课题。它是智能控制发展的重要方向。

本书内容新颖,层次分明,系统性强,理论结合应用,易于理解。既可作为高等学校的自动化、计算机、机电、通讯以及其它相关专业的大学生或研究生作数学用书,也可以供从事系统科学、人工智能、计算机、自动控制、电子、无线电工程等领域进行研究和工作的广大科技人员阅读。

神经网络模糊逻辑控制

余永权 编著

责任编辑 王惠民

*

电子工业出版社出版(北京市 173 信箱)

电子工业出版社总发行 各地新华书店经销

广州市恒远彩印厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:20 字数:390 千字

1999 年 3 月第一版 1999 年 3 月第一次印刷

印数:1~3000 册 定价:30.00 元

ISBN7-5053-3152-3/TP·1131

前 言

神经网络、模糊逻辑和进化计算是人工智能目前最新的理论基础;在国际上受到人们的高度关注;也是现在各国学者热衷于研究的前沿课题。人们对这三种新理论的兴趣、不是在于它们的时髦,或者在于它们奇特;而是在于它们在人工智能的实现过程中有着十分重要的应用价值。不少学者不约而同地认为:未来不久的前沿核心技术将是模糊逻辑和神经网络结合的新技术——神经模糊技术。

神经网络是基于人类神经网络解剖的基础上的;它描述的是人类神经网络传递、处理信息的微观过程。并且,企图从这种微观过程来模仿人的智能,探索人的智慧形成、表现形式等。

模糊逻辑则基于人类模糊思维这一抽象机理上;它描述的是人类模糊思维的方式、方法相关的宏观过程。同时,期望在这个宏观过程中掘挖人的智能形态,以及模拟人的智能作用。

模糊逻辑是用人类的语言语句表述的,因此,它较为直观,也易于为人所理解。模糊数学为模糊逻辑的研究和开发提供了数学基础。用模糊逻辑去研究人的智能是一个重要的途径。模糊控制是模糊逻辑应用最多最广泛的一个领域。由于模糊控制器是一种非线性的控制器,其控制机制是用以条件语句表述的控制规则来刻划的;所以,它带有明显人类智能思维的特征。把模糊控制看成是一种智能控制是十分恰当的。模糊控制也存在一个缺陷,这就是没有一种良好的学习架构和方法。这就需要寻找相应的补救办法。

神经网络由于采用神经元组成。所以,它的特点在于基本元素——神经元结构简单,而由神经元组成的神经网络则是十分复杂的。神经计算是神经网络的数学基础。由于神经网络是由人类神经网络发展出来的;它的信息处理过程是非线性、并行的。用它研究人的智能也是一个重要的途径。神经网络控制是神经网络应用一个极重要的领域。神经网络是以权系数来存储信息和对信息进行加权处理的。它的并行处理,分布存储有着极大的优点。它的缺点在于信息的存储是具有“隐性”的。对于一个给定神经网络,虽然权系数很明确,但人们根本无法理解它的实际功能。神经网络的一个最大优点和特点,就是在于它的学习功能。

模糊逻辑对人类思维的良好描述能力和神经网络的学习功能相结合不仅是一种可能,也是一种需要。

神经模糊控制就是把神经网络和模糊逻辑结合起来所实现的控制。这种控制方式目的在于利用两者的长处,补偿两者的短处,以期可以建立一种有学习功能的智能控制方法。为此,国际上不少著名学者近若干年作了不少的努力。在不同程度,不同角度,不同层次,不同领域取得了各种成绩和成果。神经模糊控制渐渐变成专门的一门学科雏形。

神经模糊控制是一门极新的学科,它还有很多问题需要人们研究。这些问题在目前虽然有的已解决了一部分,但很多问题尚未解决,或只解决了很初步的问题,或者根本未能涉及。这些问题包括:

1. 神经模糊控制的系统结构
2. 神经模糊控制的信息处理机制
3. 神经模糊控制器的数学模型
4. 神经模糊控制系统的稳定性判据

5. 神经模糊控制系统的辨识和模型

6. 神经模糊控制系统的优化和学习机理。

在国际上,不少研究人员发表了不少研究模糊神经网络和神经模糊控制的文章;由于这方面的研究本身就是一个十分艰辛的过程。模糊逻辑以抽象思维为基础,神经网络以神经细胞为基础,两者的基础分别属于思想与物质这两个绝对不同的范畴。把两者结合是一种互补而必然的结合,只有思想与物质的结合才是较为完美的,具有生命意义的。问题在于如何把模糊逻辑和神经网络相结合,如何才能实现优化结合,如何才能实现视不同对象的优化结合。虽然,目前所取得的成绩仍然是十分初步的;但毕竟是启发性和创造性的良好开端和发展。

作者 80 年代开始长期为硕士研究生讲授《模糊逻辑控制》,《人工神经网络》等课程,1993 年到 1994 年期间作为高级访问学者到加拿大多伦多大学从事智能控制系统研究;对模糊神经网络以及神经模糊控制进行认真的探讨。回国之后,主持广东省自然科学基金项目《神经模糊推理机研究》。根据国际上有关的研究成果以及作者的研究成果,撰写了这本书,希望能起到抛砖引玉的作用。

本书一共分为七章。第一章介绍智能控制的发展情况;第二、三章介绍模糊逻辑基础及模糊逻辑控制;第四、五章介绍神经网络及神经网络控制;第六、七章介绍模糊神经网络及神经模糊控制。本书在写作过程中,力求理论和应用相结合,期望达到深入浅出,使读者阅读方便。由于作用水平有限,加上这是一个新的专门学科,还有很多问题仍待探讨。所以,不当之处,诚望读者鉴正。

感谢广东省科学技术委员会对作者科学研究的资助和支持。在此也感谢电子工业出版社广州科技公司,使这本书得以顺利出版。还要感谢我的妻子,她在本书的写作和出版过程中作了大量细致工作,包括稿件的整理和校对。

最后,还在此感谢国内有关同行和同事对作者的支持和帮助。

作者于广州广东工业大学

1999.2.4

目 录

第一章 智能控制的发展和趋向	(1)
1.1 智能控制的概念	(2)
1.2 智能控制的发展	(5)
1.2.1 智能控制诞生的背景	(5)
1.2.2 智能控制的发展过程	(6)
1.2.3 智能控制的基本理论	(11)
1.3 神经网络模糊逻辑的结合控制	(15)
1.3.1 模糊逻辑和神经网络结合的历史原因	(15)
1.3.2 模糊逻辑和神经网络结合的现实意义	(18)
1.3.3 模糊逻辑和神经网络结合的基本方法	(19)
第二章 模糊逻辑的数学基础	(23)
2.1 模糊集合与隶属函数	(23)
2.1.1 模糊集合概念	(23)
2.1.2 隶属函数	(24)
2.1.3 模糊集合的表示方法和运算	(27)
2.1.4 分解定理和扩张定理	(30)
2.2 模糊关系与模糊矩阵	(35)
2.2.1 普通关系和模糊关系	(35)
2.2.2 模糊矩阵和合成运算	(39)
2.2.3 模糊变换	(45)
2.3 模糊逻辑与模糊推理	(48)
2.3.1 模糊命题	(48)
2.3.2 模糊逻辑	(51)
2.3.3 模糊推理	(54)
第三章 模糊逻辑控制	(60)
3.1 模糊逻辑控制的机理	(60)
3.2 模糊化方法	(64)
3.2.1 论域的量化	(65)
3.2.2 模糊划分和模糊表达	(67)
3.3 模糊控制规则	(73)
3.3.1 模糊控制规则及其格式	(74)
3.3.2 模糊控制规则的生成	(76)

3.4	反模糊化方法	(79)
3.4.1	最大隶属度法	(79)
3.4.2	中位数法	(80)
3.4.3	重心法	(81)
3.5	模糊逻辑控制系统	(82)
3.5.1	模糊控制系统的结构	(82)
3.5.2	模糊控制器和模糊算法	(87)
3.5.3	模糊控制系统的稳定性	(95)
第四章	典型神经网络模型	(104)
4.1	神经网络的基本机理和结构	(104)
4.1.1	神经元及其行为机理	(105)
4.1.2	神经网络结构及功能	(110)
4.2	反向传播 BP 模型	(113)
4.2.1	神经网络的学习机理和机构	(114)
4.2.2	神经网络学习的梯度算法	(119)
4.2.3	反向传播学习的 BP 算法	(121)
4.3	Hopfield 模型	(127)
4.3.1	离散 Hopfield 网络	(127)
4.3.2	连续 Hopfield 网络	(135)
4.4	自适应共振理论 ART 模型	(139)
4.4.1	ART 模型的结构	(139)
4.4.2	ART 的基本工作原理	(142)
4.4.3	ART 模型的数学描述	(148)
4.4.4	ART 模型的学习算法	(150)
4.4.5	ART 模型的 Lippman 学习算法	(153)
4.5	Kohonen 模型	(157)
4.5.1	神经元的侧向交互原理	(158)
4.5.2	二维阵列 SOM 模型	(159)
4.5.3	SOM 模型的学习算法	(161)
4.5.4	SOM 模型学习的具体步骤	(166)
第五章	神经网络控制	(168)
5.1	神经网络控制系统的结构	(168)
5.1.1	监视控制系统	(169)
5.1.2	逆控制系统	(169)
5.1.3	神经适应控制系统	(170)
5.1.4	实用反向传播控制和适应评价控制	(173)
5.2	神经网络控制器与学习	(175)

5.2.1 对象仿真器及神经控制器	(175)
5.2.2 学习训练的结构	(177)
5.2.3 联机学习方法及算法	(181)
5.3 神经网络控制系统	(194)
5.3.1 离散系统的神经适应控制	(194)
5.3.2 水温神经网络控制系统	(205)
第六章 模糊神经网络	(212)
6.1 模糊神经网络概念和结构	(212)
6.1.1 逻辑模糊神经网络	(213)
6.1.2 算术模糊神经网络	(218)
6.1.3 混合模糊神经网络	(224)
6.2 遗传算法	(232)
6.2.1 遗传算法的基本概念	(232)
6.2.2 遗传算法的原理	(234)
6.2.3 遗传算法的应用	(237)
6.3 模糊神经网络的学习	(239)
6.3.1 逻辑模糊神经网络的学习算法	(239)
6.3.2 算术模糊神经网络的学习算法	(242)
6.3.3 模糊神经网络的遗传学习算法	(252)
第七章 神经模糊控制	(259)
7.1 神经模糊控制器	(260)
7.1.1 逻辑神经元组成的神经模糊控制器	(260)
7.1.2 神经模糊控制器的学习算法	(264)
7.1.3 多种神经元组成的神经模糊控制器	(266)
7.2 神经模糊控制系统	(275)
7.2.1 神经模糊控制系统结构	(276)
7.2.2 典型的神经模糊控制系统	(280)
参考文献	(303)

第一章 智能控制的发展和趋向

在本世纪的四十年代,美国著名的数学家维纳(Norbert Wiener)出版了控制论一书,从而创立了自动控制理论这门学科。广义的控制论在英文中称为 Cybernetics,它的原始含义十分广泛,包括生物、工业、自然、环境等的自动调节。而对应于工业系统而言,一般则称为 Control Theory。

自动控制理论在历史上经历了两个重要的发展阶段,这两个阶段分别称为经典控制理论和现代控制理论。

经典控制理论是用传递函数来描述一个系统的,它主要是用于解决单变量系统的反馈控制问题。经典控制理论用于单输入单输出的定常线性系统控制的分析和设计,一般都可以取得理想的效果。但是,对于时变系统、非线性系统,经典控制理论就显得力不能及了。

现代控制理论是用状态方程来描述一个系统的,它主要是用于解决多变量系统的优化控制问题。通常认为:能控性、能观性概念,极值原理以及卡尔曼滤波器是现代控制理论赖以标炳于世的三个标志。现代控制理论的最优控制是其最大的特色之一。现代控制理论考虑的不仅是最终输出,而且还考虑系统的内部状态。最优控制不再是单纯输出值的反馈,而且是系统的状态反馈控制;也就是说,控制作用是状态量的函数。所以,现代控制理论可以解决过去经典控制理论无法解决的有关非线性系统的一些问题。

对于现实中大量的时变非线性系统,现代控制理论的应用结果并不尽人意;特别对一些复杂的大系统,现代控制理论仍显得束手无策。随着现代社会的技术工艺的发展,各种系统的结构的复杂程度不断增加,系统的规模也日益庞大。传统的自动控制理论在这种复杂大型的系统的面前表现得如此软弱无力,使人们不得不去探讨新的途径和方法,以企取得全新的控制理论,去解决复杂大型系统的控制问题。

在寻找新的控制理论的过程中,人们在七十年代提出了大系统理论,并把解决复杂大型系统控制的希望寄托于这种理论之上。但是,大系统理论的基本思想与架构仍然是未能摆脱现代控制理论的影子;所以,除了对高维性线系统之外,而对于各种复杂系统仍然是一筹莫展的。

通过不断的探讨和失败,人们慢慢意识到系统的复杂性不仅反映在高维结构上,而且,更多表现在系统信息的偶然性,不完全性,不确定性和模糊性上。系统的不确定性在五十年代已被人们所注意。人们对具有相同的传递函数的系统,却发现其动态特性完全不同,这种情况被人们当时称为不确定性。现在人们一般把不确定性分成二类。第一类的不确定性是指系统模型的不确定性。它表示系统的模型是不能用微分方程描述的,或者是模型是变异的。模型的不确定性使到现有的传统控制理论失效。第二类是环境的不确定性。被控制对象和环境之间是有关某种相关强作用的。环境的不确定性,就会使被控制对象随之变化,这种变化是不可预示和不确定的。而模糊性在各种系统中也是大量存在的,特别是和人有关的系统中模糊信息是控制量或结果。既然,系统是不确定的,模糊的;那么,基于精确数学的传统控制理论是当然无法解决其控制问题的。

有鉴于此,人们就从一些新的角度提出了所谓“智能控制”方法。

现代工程技术,生态环境等领域,其系统的结构是十分复杂的;人们希望能对这些系统实行控制;就要求进行智能控制才能达到企望的目的。这就要研究对系统特征的描述和提取,符号和环境的识别,知识及推理机制的开发,在线学习和校正,系统对环境 and 过程适应,系统对外界条件的组织、决策反应、规划能力,并且模仿人的一些智慧和经验用于系统控制。

智能控制还是一种新的控制方法,它的概念、方法、分析、设计都需要人们深入去进行研究。由于它是一种新的方法,所以它和传统控制理论的方法是有很大区别的。本章对智能控制作一些概括的介绍。

1.1 智能控制的概念

智能控制的关键在于“智能”两个字。

什么是智能,人们目前尚未能用一个十分确切的定义来说明。

不过,从众多的人们认识中,可以得出关于智能的有关的各种不同的理解:

智能,就是在各种环境中采取适当的行动策略去实现某种目标的能力。

智能,就是在任意给定的环境和目的的条件下正确制定决策和实现目的的能力。

智能,就是用自己的知识去应付新情况,解决新问题的能力;学习的能力;预见新情况和新问题的能力;创造新的相互关系的能力;抽象思维的能力。

智能,就是人们认识客观事物并运用知识解决实际问题的能力。

智能,就是指人运用知识解决问题的能力。

实际上,人们的智能活动的核心是思维,而思维的物理结构是大脑,大脑活动的作用就是处理信息。很明显,智能活动和信息是不能分开的。这样,就从智能这个概念中引出什么是信息的问题。

什么是信息,人们亦未曾有一种统一的认识。

从现有的研究结果,可以看出人们对信息的定义存在很多种不同的理解。

在经典的牛津字典中,把信息定义为“某人被通知或告知的内容;情报,消息”。

在其它各种文字资料,对信息的解释如下:

信息,是人们所知道的东西。

信息,是通过事实的表述而传递给头脑的知识。

信息,是人们借助于公认的惯用表达形式,用事实和概念表示的含义,或由事实和概念提取出来的含义。

控制论创始人维纳对信息的定义是:信息就是信息,不是物质也不是能量。

信息论创始人 Shannon 对信息的定义是:信息是用来消除观察者认识上不定性的东西。

而我国钟义信等人认为:信息是一个复杂的概念,具有许多不同的层次。而最基本也是最重要的层次是本体论层次和认识论层次。

本体论层次的信息定义是:事物的信息,就是事物运动的状态及其变化的方式。

认识论层次的信息定义是:信息,就是主体所感受或所表述的事物运动的状态及变化的方式。

本体论层次的信息定义是最基本的概念。因为它是在没有任何其它干扰因素的条件

下,揭示了事物信息的实质。所以,本体论层次的信息定义在理论研究上有极大的意义。

认识论层次的信息定义是最有应用价值的概念。因为它不仅考虑了客体的因素,而且考虑了主体的因素。所以,认识论层次的信息定义在实际应用中具有极大的意义。

在考虑了信息在智能活动中的作用及其有关定义之后,人们对智能的认识可以用一个更深入的定义来说明。

对智能可以给出如下这种定义:

智能,就是有效地获取、传递、处理、再生和利用信息,从而在任意给定的环境下成功地达到预定目的的能力。

这个定义,不但给出了智能的关键是在于对信息获取,传递,处理,再生和利用的能力,更重要的是意味着,具有这种能力越强,那么,达到预定目的成功率也就越高;也即是智能越强。

在人类的智慧活动中,知识是一种十分重要的信息形态。知识是人类对实际客观环境的实践活动经验的总结和提炼,故而知识是一种具有抽象和普遍特性的信息。也可以讲,知识是对原有信息进行加工处理后而得到的产物,是抽象化和普遍化的信息,它是包有某种因果推理关系的群信息。

很明显,知识隐含着人们的智能活动过程和结果。

一般可以认为:智能就是人们利用知识去认识事物和解决实际问题的能力。

智能控制,用一句概括的话来说,就是利用有关知识去使被控过程或对象按一定要求达到预期目的的一种控制方法。

智能控制是一种新的控制概念,它仍处于探讨和发展阶段,很多问题还等待人们去解决;所以,对于智能控制(Intelligent Control)的认识,人们还有很多不同的理解;因而,到目前,智能控制还未有一个统一、公认的严格定义。

尽管如此,这并不妨碍人们对智能控制的研究和探讨。因为,人们都知道,把人的智慧加入到控制之中去是智能控制的奋斗目标。这个方向允许人们采用各种不同的途径和方式去追求和达到。

一个智能控制系统,可以考虑其具有下列一些特点:

1. 对知识的获取和提炼能力

一个智能控制系统,其目的是按一定要求使对象的输出达到预期目的。这样,就必须对对象的信息及行为特性有充分的了解。要了解对象的各种信息及行为特性,就要求能对对象取得足够的知识。智能控制系统对对象各种信息:声音、图形、图象、模拟量、数字量等都能进行有效的检测;而且,对这些信息能进行各种程度的提炼。从而取得信息的抽象化或普遍化产物,也即知识。这些知识是智能控制的基础。一般而言,知识可以表示为表达对象的知识模型,以及表示为可以控制对象以智能方式运行的知识控制算法。

2. 知识型灵活反应能力

这种反应能力基于下列基础:知识的群信息的获取及提炼;知识型的反馈作用,反馈作用具有多媒体特征,也即是多种信息的反馈。一般而言,要求系统有多传感器融合能力,以采集大量性质不同的信息。多媒体反馈有时用“感知”表述。“感”是指对信息的采集和预处理;“知”是指对信息的理解。由于知识的反馈,控制器的反应是针对知识流的,并且,在众多知识中,能够以最重要知识为主进行知识型反应。保证系统的准确及灵活反应能力。

3. 知识型的控制算法

知识型的控制算法表现在系统具有自适应、自组织、自学习或自协调等能力,这些能力是以控制器对系统对象所取得的知识基为基础,以现行获取的知识流为实时反应依据而表达出来的。控制算法面对的是群信息,故而一般应具有分布式并行处理能力,才能高速响应实时取得的知识流有关状态,才可能执行以知识为特征的推理,判断和决策过程。

知识型的控制算法不是传统的一般线性或非线性的纯数学的公式求解;而是体现人的思维特点的归纳、演绎、总结、推理、运筹、决策等算式或符号的非传统处理方法。这种非传统处理方法目前还需不断地进行研究和探讨。

4. 高度可靠性的特征

一个智能控制系统应有高度的容错和自修复能力。对于各种对象,在控制过程中是要求系统保持处于正常状态的;也即是不允许系统产生损坏或错误。这对于各种实时的高速控制系统十分重要,否则会带来灾难性的效果。容错就是当系统出现错误或者故障时,系统仍然能进行正常工作的一种特性。对于智能控制系统,采用冗余技术是提高容错能力的有效措施。硬件的冗余是自修复的基础之一,一个智能控制系统为了保证自修复功能有效,一般应采用多重备份的硬件冗余方法。

智能控制系统是一个包括智能控制器,被控制对象和性能辨识的系统。它的结构如图 1-1 所示。智能控制器是这个系统的核心。

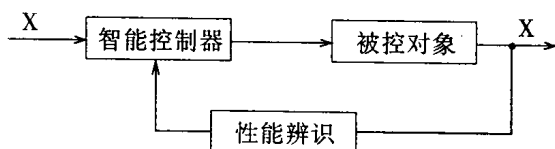


图 1-1 智能控制系统一般结构框图

智能控制器是一个有智慧的复杂控制器,其智慧表现在它对被控对象有关知识的占有,知识的提炼能力,运用知识的推理和决策能力。在实际运用中,知识的占有是有一个定量的量度标准的。这主要在于对被控对象知识的了解是可以通过实际运行取得和积累;初始的不完善知识不会妨碍系统知识的获取和提炼过程;对于一个动态系统来说,不存在所谓全面的完满的知识,智能控制器关键在于能吸取知识,能对知识进行加工提炼,能利用所取得的知识进行推理和决策。

对象性能辨识是获取知识的关键环节。这个环节对对象的有关特征和信息进行检测;并把检测的结果送入智能控制器。对象性能辨识环节的工作过程是实时的,它对对象的重要特征,包括输出状态,状态变化,反映对象静态特性,动态特性的信息等进行检测;并且,把这些不同的物理量转换成电量,并把其归一化到智能控制器可以接受的范围之内。在对象性能辨识中,它输出的是数字量或是开关量。作为控制系统中的一个环节,它是一个反馈环节,只不过它所反馈的是被控制对象的知识。

被控制对象是智能控制器的控制对象。一般的性线对象,是无需智能控制器进行控制的。智能控制器的控制对象一般是复杂的对象,它有结构的非线性、不确定性、无穷维、分布

式、多层次;信息的混合性,不完全性,模糊性,不确定性,随机性;功能的数值运算与逻辑运算混合,模糊推理与精确判决的混合等。

1.2 智能控制的发展

智能控制和任何科学技术的方法一样,是经历一个发展过程。它的发展有其对应的社会和物质基础,从而也就形成了其诞生和发展的必然性。下面从背景、发展阶段、内容和趋向等方面介绍目前智能控制的发展情况。

1.2.1 智能控制诞生的背景

自动控制理论的历史可以追溯到 19 世纪,以 J.C 麦克斯威尔对具有调速器蒸汽机系统稳定性研究标志着反馈控制的成功和实际有效应用。在 20 世纪 40 年代, Nyquist 判据, Bode 图在自动控制系统的稳定性分析和设计中起了极大的作用。第二次世界大战期间,战争武器控制问题迫使各国投入大量的人力物力进行有关理论研究和实际实验,这使到自动反馈控制系统在系统设计,动态特性提高,控制精度的追求上都取得了空前的成果。第二次世界大战结束之后,各国都致力于经济发展和建设,这就刺激了工农业生产的大力投入和进步的追求。工业生产为了提高生产效率而迫切要求各种自动控制技术,从而掀起了对自动控制理论的研究高潮;同时,在各种应用领域中自动控制技术得到推广和应用。在 50 年代末期到 60 年代初期形成了系统化的控制理论,当时,苏联的 Pontryagin 的极大值原理, Bellman 的动态规划, Kalman 的滤波、能控性、能观测性、反馈镇定等理论都是这一时间取得的重大控制理论成果。

在进入七十年代中期之后,工业化技术和产业化的高度发展,科学技术的迅速进步;在各种控制领域中,被控对象在结构上日益复杂化和大型化。传统上所取得的控制理论和方法已无法满足新的控制任务的需要,从而处于一种无可奈何的尴尬状态。面临这种困境,人们不得不另辟新的途径,力图突破过去的旧模式寻找可以适应新的社会要求的控制理论和技术。

应该说,传统的控制理论也取得了一系列辉煌的成就,在航天、航空、航海、天文、工业控制等领域取得了十分骄人的成绩。例如,人造卫星的姿态控制、雷达阵、太阳能接收器、空间望远镜等大型空间结构系统的高精度瞄准及镇定;机器人的鲁棒控制及多臂协调控制;负荷突变的电力系统的运行控制;工业生产过程中的实时多参数控制;通讯系统中信息不全,信息压缩和信息有效提取的解决;制造加工系统多模型、多目标、多层次的分析和优化;经济规划和经济模型的优化;生产管理中的原材料、产品、生产速度的协调和优化等;在这些领域和用途上,传统控制理论为人类取得了不少重大的社会和经济效益。

但是,从 20 世纪 70 年代中期以来,复杂系统的控制问题一直困扰着人们。大系统理论曾向人们显示了解决问题的一线曙光;不过,大系统理论在实践中并未展示出象人们所期望的那种令人兴奋的效果。实际上,大系统理论仍未能突破传统形成的所谓现代控制理论的基本思想和架构,它除了对有关高维线性系统产生较好的效果之外,对其它各种复杂系统仍然是束手无策的。

通过不停的探讨和各种失败的教训,人们从过去的传统控制理论沉迷中醒悟过来;并且

认识到:一个系统的复杂性,不仅表现在高维性上,更多地表现在信息的模糊性、不确定性、偶然性和不完全性上。显然,以精确数学模型为基础的大系统理论是无法解决复杂系统的一系列有关问题的。

既然,传统的经典控制理论、现代控制理论,以及大系统理论对复杂系统的控制都无能为力;那么,解决复杂系统问题的金钥匙又在那里呢?人们为此而绞尽脑汁。

当人们对复杂系统的控制问题不断努力,并被弄得昏头转向,收效甚微时。看来,在这个胡同中打转转只会白费时日了。然而,一种过去不曾被人们重视的现象使到人们对控制问题的求解思想得到重大的启发;从而对控制问题的解决有了根本性的改观。

在实践中人们发现,对于那些无法取得精确数学模型的大型复杂系统,或者工业控制系统;虽然,无法用传统的控制理论设计出恰当的控制器对其实行有效控制;但是,一个有经验的工作人员却能轻驾就熟地对这种系统进行得心应手的控制。

例如,一个骑自行车的人,他对自行车的动平衡的动力系统数学模型往往是一窍不通的,但他可以凭经验自如地骑着自行车,不但可以在平整的路面上行进,而且可以应付各种转弯,路面变化,路障的躲避,紧急事故等。如果,人骑自行车这一个系统问题,用传统的精确控制方法去求解,则因所考虑的因素很多,所以,求解就十分复杂。但是,骑车人却可以轻而易举地解决。

很明显,骑车人并不知道自行车动平衡的数学模型;实际上,任何一个骑车人也不会先求这个数学模型而后去骑自行车。骑车人是利用直觉推理,经验,知识和技巧等对自行车进行驾驭的,在骑自行车的过程中,骑车人不断进行学习取得更多经验,从而积累更多对付不同情况的知识和技巧。从而,他可以自如地随心所欲地骑自行车。这就告诉人们:在对自行车动态控制中,依赖的不是动态系统的数学模型,而是人的智能活动。反过来可以这样讲,人的智能活动可以对无法获取数学模型的系统进行有效控制。

要解决难以用数学模型表述的大型复杂系统;显然,只有用智能控制方法才是正确的出路。

智能控制,在传统控制理论面临困境时奇军突出,是控制理论随着社会发展和科学技术进步的结果。

智能控制,向人们提出了一系列全新的概念、方法、结构和理论。

智能控制,本质在于体现人的智能活动,所以,它不会以单纯的精确数字运算去实现;而是,包括多种非精确,也即是模糊的符号、信息、形态的推理,归纳,演绎等逻辑过程。

智能控制,和传统控制的重大区别是在于它并不需要知道对象的精确数学模型。

1.2.2 智能控制的发展过程

正当传统控制理论对各种复杂系统感到束手无策,并在苦苦寻求出路的时候,曾提出了各种系统自完善的方法,以企望可以对付各种复杂的系统控制问题。

人们提出的“自适应控制”,“自寻优控制”“自学习控制”也曾解决了一些问题,但是,要从根本上解决各种复杂控制问题还有相当的距离。不过,这些控制方式的提出和探讨,孕育着智能控制的产生。在 20 世纪 60 年代到 70 年代这一个阶段,人工智能的研究已取得了一些初步的成果;控制领域的研究人员就考虑把人工智能技术用于控制系统,希望提高控制系统的品质和寻优能力。

1971 年,傅京荪(Fu.K.S)在“学习控制与智能控制——人工智能和自动控制的交汇”一文中首先提出了一个崭新的研究领域,即智能控制领域;并且,提出了智能控制系统 ICS(Intelligent Control System)这个概念。并且认为,智能控制是人工智能和自动控制相互交汇的结果;同时,用图 1-2 所示的二元图表示。在图中,有阴影部分即是智能控制示图。

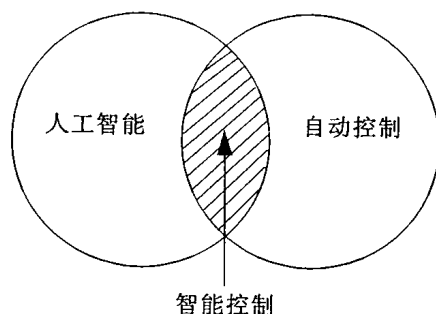


图 1-2 智能控制的二元示图

傅京荪认为有三种系统可以认为是典型的智能控制系统,这三种系统分别是:

1. 以人作为控制器的控制系统

人本身就是智慧个体,它具有辨识、推理、决策、控制等能力。所以,对于各种被控的对象,环境以及控制目的,都有自动辨识,学习,组织和适应能力;能够根据各种对应的情况采用正确决策去对对象执行适当的控制。因此,人工控制系统是名符其实的智能控制系统。

2. 人——机结合作为控制器的控制系统

人——机控制系统中,一般所采用的机器是电子计算机。在这种系统中,计算机执行快速计算和各种连续执行的操作,也就是人不适宜执行或无法执行的控制任务;人所执行的是管理、决策、判别、发布命令、分配任务等工作。在这种系统,智能仍然是由人的工作体现出来。

3. 无人参与的自主控制系统

在这种系统中,所有的控制任务都是由计算机执行的。这包括信息辨识,模型建立,问题求解,寻优规划,反馈控制,数据分析等。最典型的这种系统是自主机器人。在这种系统中,计算机表现出人的某些智能。

傅京荪对智能控制的贡献是开创性。自从他提出智能控制这个概念以来,智能控制就成为一种引人注目的控制理论分支而不断发展。

Saridis G.N 是继傅京荪之后对智能控制的发展过程有重要贡献的学者。在 1977 年, Saridis 出版了“随机系统自组织控制”(Self-Organizing Control of Stochastic System)一书,同时在 1979 年还发表了“向实现智能控制进军”(Toward the Realization of Intelligent Controls)这篇有很大影响的综述文章。在这两个代表性的篇章中, Saridis 根据控制理论的发展过程,叙述了从经典的反馈控制到自适应控制,进而到智能控制的发展。他第一次提出了典型的智能控制系统结构,即分层递阶智能控制,这种结构如图 1-3 所示。

分层递阶智能控制是三层递阶的控制系统,它分成组织层,协调层和执行层。在这种系统中,组织级是最高级的上层,执行组是最低级的下层;控制精度由下至上逐级递减,智能程

度由下至上逐级递增。

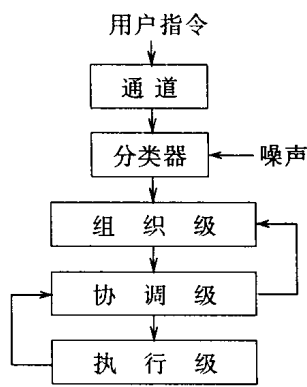


图 1-3 分层递阶智能控制结构

Saridis 在理论上给出了一个十分重要的概念——熵,并以熵作为智能控制系统的性能量度准则和指标,对每一级给出熵的计算方法;并且,指出了在执行级实现最优控制等价于令某熵最小的控制。

在分层递阶控制中,组织级是最高智能级,它主要进行知识处理和管理。在执行中实施推理,规划、决策、学习等。调协级是组织级和执行级之间的接口。它的主要作用是根据组织级的指令信息协调有关任务,把组织信息分配到下一层的执行级;它还实现子任务的学习,和决策,并且把有关信息反馈到组织级。执行级是智能控制系统中的最低一级,这一级由多个硬件控制器组成,在控制性能上要求有很高控制精度,而控制方法则是传统的方法。

Saridis 的分层递阶智能控制结构在本质上是依据“智能随精度的提高而下降”的原理构成的。Saridis 的理论的突出特点是在每一级都实现了数值化处理。他把傅京荪关于智能控制的二元示图发展为三元示图,他认为智能控制是由人工智能,运筹学和控制理论三者结合而成的,其意义如图 1-4 所示。在图中,阴影部分表示智能控制。

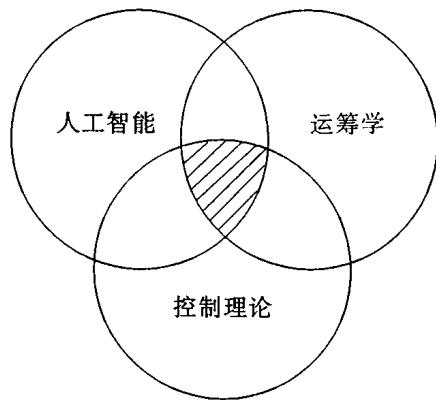


图 1-4 智能控制的三元示图

1985年,IEEE在美国召开了首届智能控制会议,在会上对智能控制的原理及系统结构进行专门的讨论。这次会议对智能控制的国际化研究和推动有很大的影响。这次会议决定在IEEE控制系统学会之下设立一个新的专业委员会,对智能控制的学术活动负责。这标志着智能控制这门新兴学科的研究进入一个全新的时期。

1986年,Astrom.K.J发表了“专家控制”(Expert Control)这篇有深远影响的文章,他把人工智能中的专家系统技术和控制理论相结合,产生了一种新型的专家控制的智能控制系统。在这种控制方式中,把专家系统技术和传统的PID控制,数字控制,现代控制方法恰当地相结合,根据环境和对象的不同,控制方式和控制精度的不同,从而采取专家型的控制策略;切实而有效地解决各种实际问题。Astrom的工作对智能控制有重要贡献。

1987年1月,IEEE控制系统学会和计算机学会又召开了智能控制的国际学术讨论会,从而在国际上又掀起了智能控制研究的高潮。紧接在1988年8月,又召开了第二次智能控制的国际会议。此后,各种智能控制的国际会议日趋频繁,反映了智能控制的热潮日益高涨。

1989年,我国的蔡自兴从系统的整体性和目的性出发,对智能控制进行研究后提出智能控制的四元结构,其意义认为智能控制是控制理论,系统理论,运筹学和人工智能这四种学科的交叉。这种结构可用图1-5表示。图中阴影部分表示智能控制。

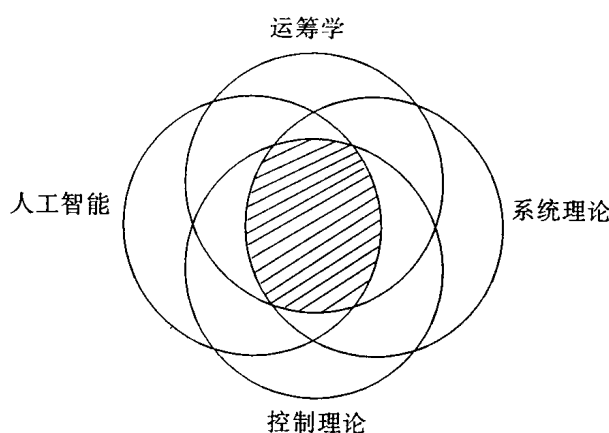


图 1-5 智能控制的一种四元示图

随着智能控制的发展,模糊逻辑和神经网络也在同时发展。到今天,人们已渐渐明确认识到,人工智能,模糊逻辑和神经网络是智能控制的基础理论和组成技术。

模糊逻辑控制是智能控制一种形式。模糊控制是以人的思维过程为依据去执行控制的,这种控制基于人对信息和事件的处理所具有的抽象思维、模糊推理的特点的。它是从人的思维角度体现人的智能控制方法。模糊控制和传统的控制方式有极大的区别。首先是其理论基础不同;模糊控制是以模糊量为基本量去执行控制处理的,其基础是模糊数学。再有就是控制机理不同;模糊控制是以语句控制规则去执行推理控制的,而不是以数学公式去执行计算控制的。还有就是模糊控制无需知道被控制对象的准确数学模型。模糊控制是建立