

高等学校“十一五”规划教材



机械设计制造及其自动化系列

**INTELLIGENT MANUFACTURING
SYSTEM AND TECHNOLOGY**

智能加工技术与系统

富宏亚 韩振宇 编著

哈尔滨工业大学出版社

高等学校“十一五”规划教材



机械设计制造及其自动化系列

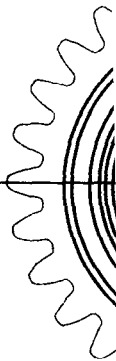
TP273
397

**INTELLIGENT MANUFACTURING
SYSTEM AND TECHNOLOGY**

智能加工技术与系统

富宏亚 韩振宇 编著

哈尔滨工业大学出版社



内容提要

智能控制是近 30 年来发展起来的一门新兴学科。本书总结了近几年来智能控制的研究成果,详细阐述了智能控制的基本概念、工作原理、设计方法和实际应用。本书的主要内容包括:智能控制的基本概念、模糊控制系统、神经网络控制、专家控制和遗传算法最优控制。本书在深入介绍智能控制系统设计理论和实现手段的同时,还给出了一些智能控制在机械加工中应用的设计实例。

本书选材新颖,系统性强,突出理论联系实际。叙述深入浅出,可作为高等院校机电一体化、机械制造及自动化等专业的硕士研究生和高年级本科生的教材,也适合于工业自动化领域的工程技术人员阅读和参考。

Abstract

Intelligent control is a new science field developed in recent 30 years. The book presents up-to-date research results in intelligent manufacturing system, and introduces the basic concepts, principles, methodologies, of intelligent control and its applications in mechanical engineering. The main contents includes the fundamentals of intelligent control, fuzzy control system, neural network control, expert control and genetic algorithm optimization control, the book illuminates the theory of intelligent control design and application methods, furthermore, describes a lot of applied examples.

The book presents comprehensive materials and shows the close connection between theory and practice, enabling readers to use the principles to their case study and practice projects. The book is written as a monograph that can be used as a textbook for graduate students and senior students for mechanical engineering and automation, and as a valuable reference book for engineers working in the areas of industrial automation.

图书在版编目(CIP)数据

智能加工技术与系统/富宏亚等编著,一哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2006.8

ISBN 7-5603-2380-4

I. 智… II. 富… III. 智能控制 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 082119 号

责任编辑 潘 鑫

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂

开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16 印张 11 字数 255 千字

版 次 2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月第 1 次印刷

印 数 1~4 000

定 价 19.80 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

高等学校“十一五”规划教材

机械设计制造及其自动化系列

编写委员会名单

(按姓氏笔画排序)

主 任	姚英学				
副主任	尤 波	巩亚东	高殿荣	薛 开	戴文跃
编 委	王守城	巩云鹏	宋宝玉	张 慧	张庆春
	郑 午	赵丽杰	郭艳玲	谢伟东	韩晓娟

编审委员会名单

(按姓氏笔画排序)

主 任	蔡鹤皋				
副主任	邓宗全	宋玉泉	孟庆鑫	闻邦椿	
编 委	孔祥东	卢泽生	李庆芬	李庆领	李志仁
	李洪仁	李剑峰	李振佳	赵 继	董 申
	谢里阳				

总 序

自1999年教育部对普通高校本科专业设置目录调整以来,各高校都对机械设计制造及其自动化专业进行了较大规模的调整和整合,制定了新的培养方案和课程体系。目前,专业合并后的培养方案、教学计划和教材已经执行和使用了几个循环,收到了一定的效果,但也暴露出一些问题。由于合并的专业多,而合并前的各专业又有各自的优势和特色,在课程体系、教学内容安排上存在比较明显的“拼盘”现象;在教学计划、办学特色和课程体系等方面存在一些不太完善的地方;在具体课程的教学大纲和课程内容设置上,还存在比较多的问题,如课程内容衔接不当、部分核心知识点遗漏、不少教学内容或知识点多次重复、知识点的设计难易程度还存在不当之处、学时分配不尽合理、实验安排还有不适当的地方等。这些问题都集中反映在教材上,专业调整后的教材建设尚缺乏全面系统的规划和设计。

针对上述问题,哈尔滨工业大学机电工程学院从“机械设计制造及其自动化”专业学生应具备的基本知识结构、素质和能力等方面入手,在校内反复研讨该专业的培养方案、教学计划、培养大纲、各系列课程应包含的主要知识点和系列教材建设等问题,并在此基础上,组织召开了由哈尔滨工业大学、吉林大学、东北大学等9所学校参加的机械设计制造及其自动化专业系列教材建设工作会议,联合建设专业教材,这是建设高水平专业教材的良好举措。因为通过共同研讨和合作,可以取长补短、发挥各自的优势和特色,促进教学水平的提高。

会议通过研讨该专业的办学定位、培养要求、教学内容的体系设置、关键知识点、知识内容的衔接等问题,进一步明确了设计、制造、自动化三大主线课程教学内容的设置,通过合并一些课程,可避免主要知识点的重复和遗漏,有利于加强课程设置上的系统性、明确自动化在本专业中的地位、深化自动化系列课程内涵,有利于完善学生的知识结构、加强学生的能力培养,为该系列教材的编写奠定了良好的基础。

本着“总结已有、通向未来、打造品牌、力争走向世界”的工作思路,在汇聚多所学校优势和特色、认真总结经验、仔细研讨的基础上形成了这套教材。参加编写的主编、副主编都是这几所学校在本领域的知名教授,他们除了承担本科生教学外,还承担研究生教学和大量的科研工作,有着丰富的教学和科研经历,同时有编写教材的经验;参编人员也都是各学校近年来在教学第一线工作的骨干教师。这是一支高水平的教材编写队伍。

这套教材有机整合了该专业教学内容和知识点的安排,并应用近年来该专业领域的科研成果来改造和更新教学内容、提高教材和教学水平,具有系列化、模块化、现代化的特点,反映了机械工程领域国内外的新发展和新成果,内容新颖、信息量大、系统性强。我深信:这套教材的出版,对于推动机械工程领域的教学改革、提高人才培养质量必将起到重要推动作用。

蔡鹤皋

哈尔滨工业大学教授

中国工程院院士

2006年8月10日

前 言

智能控制系统是当今国内外自动化学科中一个十分活跃和具有挑战性的领域,是一门新兴的交叉学科。它与人工智能、自动控制、运筹学、计算机科学、模糊数学、进化论、模式识别、信息论、仿生学和认识心理学等有着密切的关系,是相关学科相互结合与渗透的产物,具有广阔的应用前景。目前已用于各种工业自动化领域,并形成一门新的智能自动化学科。

为了适应科学技术的高速发展,作者根据近年来所进行的有关智能控制应用的科研成果,并参考国内外有关文献资料编写了此书。书中没有详细讲述智能控制的学科基础理论,而着重从工程技术和应用的角度叙述智能控制基本原理。论述深入浅出,力求使读者较快掌握和应用这门高新技术。

本书的宗旨是试图从智能控制技术的角度来阐述智能制造技术的最基本内容。智能控制技术的内容相当丰富,本书尽量将一些比较成熟的、实用性较强的内容包含进来。同时考虑到智能控制的发展,简单地介绍了智能控制的最新进展情况。本书前6章内容分别阐述智能控制的基本概念、模糊控制、专家控制、神经网络控制和遗传算法最优控制,尽可能简要地介绍基本概念及基本理论基础,然后结合我们在科研中做过的一些实际工作,在后两章中介绍这些理论与方法在机械制造和机械控制系统中的运用。力争使读者在学习智能控制的初步知识后,通过书中浅显的语言和工程实例的引导,就可以比较快地掌握智能控制的理论和方法,尽早进入工程应用领域。每一章的内容,都具有相对的独立性,读者可以根据自己的情况选读。

本书的另一个特点是尽可能少地引用数学推导与证明,只保留基本的概念、方法和结构,试图突出其工程性。另一方面,从工程的角度看,又尽可能体现一定的理论深度,克服泛泛而谈的缺点。因此,读者要深入了解智能控制理论上的问题,还必须深入地阅读本书后列出的相关参考文献。

编写过程中,作者参阅和引用了较多国内外专家学者的书籍、期刊和其他资料,在此谨致谢意。为避免不必要的重复引用,书中未列出引用作者或其他专家发表论文或论著时其所引用的参考文献。

本书第1、3、7、8章由富宏亚编写,第2、4、5、6章由韩振宇编写,全书由富宏亚统稿,哈尔滨工业大学王永章教授主审。参加本书编写的还有路华、付云忠和韩德东等。

由于作者的学识水平和教学经验都很有限,疏漏之处在所难免,殷切期望广大读者和专家给予批评和指正。

编 者

2006年9月于哈尔滨

目 录

// 第 1 章 智能控制概述

1.1 智能控制产生的背景及基本概念	1
1.2 智能控制系统的特征和性能	4
1.3 智能控制的主要研究内容	5
1.4 智能制造技术和智能制造系统	8
1.5 智能控制的发展及在机械工程中的应用	10

// 第 2 章 智能控制的知识工程基础

2.1 知识的基本概念	12
2.2 知识的表示	13
2.3 知识的利用	22
2.4 知识的获取	29

// 第 3 章 模糊控制

3.1 模糊控制系统的工作原理	34
3.2 模糊控制器设计	43
3.3 模糊自适应 PID 控制器	52
3.4 模糊控制系统的工程实现	55

// 第 4 章 专家控制

4.1 专家系统概述	62
4.2 专家系统的实现	69
4.3 专家控制器的设计	72
4.4 专家控制系统在高炉监控系统中的应用	79

// 第 5 章 神经网络控制

5.1 神经网络的基本概念	83
5.2 人工神经网络的学习方法	87
5.3 人工神经网络的模型与算法	89
5.4 基于神经网络的智能控制	92
5.5 神经网络设计的具体实现	95
5.6 神经网络在机械工程领域的应用	101

第 6 章 进化计算和遗传算法

- 6.1 有关遗传算法的基本概念 104
- 6.2 遗传算法的基本原理 108

第 7 章 智能加工系统和智能加工单元

- 7.1 现有的加工系统及所存在的问题 124
- 7.2 智能制造系统和加工单元的概念 125
- 7.3 基于传感器信息的开放性智能加工单元的系统构成 128
- 7.4 相关的加工知识与知识处理 130
- 7.5 智能制造的支持技术 132
- 7.6 智能制造技术与系统的发展 135

第 8 章 智能控制在加工系统中的应用

- 8.1 利用神经网络进行加工误差的预测与补偿 137
- 8.2 基于遗传算法(GA)的加工条件多目标优化 141
- 8.3 沟槽铣削加工中利用 GA 进行加工深度参数优化 145
- 8.4 神经网络在机械加工过程监测中的应用 147
- 8.5 恒定切削力智能适应控制 149
- 8.6 基于神经网络与遗传算法融合技术的加工条件适应学习控制 152

- 参考文献 162

第 1 章

智能控制概述

智能控制是一门新兴的交叉前沿学科,它具有非常广泛的应用领域,例如智能机器人系统、计算机集成制造系统(CIMS)、复杂的工业过程控制系统、航天航空控制系统、社会经济管理系统、交通运输系统、通信网络系统、环保与能源系统等。

目前,有关智能控制的定义、理论和结构等还没有统一的系统描述。本章主要从工程控制角度来介绍智能控制及其系统的基本概念,智能控制系统的基本结构、基本功能,智能控制系统的特征模型,智能控制系统的类型和智能控制系统的发展概况等。

1.1 智能控制产生的背景及基本概念

1.1.1 传统控制所面临的困难

传统控制包括经典控制理论和现代控制理论。经典控制理论以单输入单输出线性定常系统为研究对象,以拉氏变换为数学工具,运用传递函数、频率特性、根轨迹等频域设计方法进行系统的分析设计。现代控制理论的研究对象扩展为多变量的、非线性的、时变的、离散的系统,以线性代数和微分方程为主要数学工具,以状态空间(一种时域分析方法)为基础,分析和设计控制系统。传统控制理论的主要特征是基于模型的控制。

传统控制理论曾经在一段时期成为解决现实生活控制问题的有力工具。但随着社会的发展,工程科学、技术对控制提出了越来越高的要求,传统控制理论逐渐遇到了难以解决的困难,主要体现在以下几个方面。

(1) 对象的复杂性、高度非线性和不确定性导致系统辨识和建模的困难

控制系统的设计无论是采用以频域法传递函数为基础的经典控制理论方法,还是采用以状态空间为基础的现代控制理论方法,都需要知道被控对象的数学模型。然而,一般的工业控制过程,都具有非线性、时变性和不确定性。并且被控对象变得越来越复杂,其复杂性主要表现为高度的非线性、高噪声干扰、动态突变以及分散的传感元件与执行元件、分层和分散的决策机构、多时间尺度、复杂的信息结构等,这些复杂性都难以用精确的数学模型(微分方程或差分方程)来描述。除了上述复杂性之外,往往还存在着某些不确定性,不确定性也难以用精确数学方法加以描述。传统的控制理论依靠纯数学解析的方法,所以对被控对象的复杂性、高度非线性和不确定性显得无能为力。

(2) 线性系统控制理论在解决对象特性复杂的控制任务时遇到困难

经典控制理论及现代控制理论的任务在于寻求(反馈)控制,使得闭环系统稳定。这就是通称的“镇定问题”。工程技术不断地提出新的控制任务,它们远远不可能用镇定来概括。

另外,随着科学技术的发展,人们的控制活动会越来越多,控制的任務也会越来越复杂和困难。面对这样复杂的对象特性和复杂的控制任务要求,传统的线性系统控制理论已经远远达不到要求。

(3) 定性、逻辑、语言控制等控制手段面临着数学处理的困难

事实上,随着计算机在自动控制领域的广泛应用,工程师们在实际的控制工程中已经成功地采用了大量定性的、逻辑的以及语言描述的控制手段。然而,就是这些在工程实际中成功运用的控制手段和经验,在传统控制理论中面临着极大的数学处理方面的困难。

基于上述问题,控制科学界多年来一直在探索着新的概念、理论与方法以与社会生产的快速发展相适应。智能控制就在这样的背景下应运而生了。

1.1.2 什么是智能控制

从信息的角度来看,所谓智能,可具体地定义为:能有效地获取、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。可以看出,智能的核心是一种思维的活动。研究智能理论与技术的目的,是要设计制造出具有高度智能水平的人工系统(智能系统),以便在那些必要的场合能够用人工系统替代人去执行各种任务。

定性地说,智能控制系统应具有仿人的功能(学习、推理):能适应不断变化的环境,能处理多种信息以减少不确定性,能以安全和可靠的方式进行规划,产生和执行控制的动作,获取系统总体上最优或次优的性能指标。

相应地,从系统一般行为特性出发,J. S. Albus 在 1986 年提出,智能控制是有知识的“行为舵手”,它把知识和反馈结合起来,形成感知-交互式、以目标为导向的控制系统。该系统可以进行规划,产生有效的、有目的的行为,在不确定的环境中,达到既定的目标。

从认知过程看,智能控制是一种计算上有效的过程,它在非完整的指标下,通过最基本的操作,即归纳(G, Generalization)、集注(FA, Focusing Attention)和组合搜索(CS, Combinational Search),把表达不完善、不确定的复杂系统引向规定的目标。

智能控制是多学科的交叉。按照美籍华人教授傅京逊(K. S. Fu)和美国普渡大学教授 G. N. Saridis 提出的观点,可以把智能控制(IC, Intelligent Control)看做是人工智能(AI, Artificial Intelligence)、自动控制(AC, Automatic Control)和运筹学(OR, Operations Research)三个主要学科相结合的产物。图 1.1 所示的结构,称之为智能控制的三元结构。

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征,是一种动态反馈。

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等。

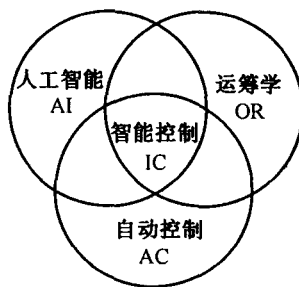


图 1.1 智能控制与三学科的交叉关系

这种三元结构理论表明,智能控制就是应用人工智能的理论与技术和运筹学的优化方法,并将其同控制理论方法与技术相结合,在未知环境下,仿效人的智能,实现对系统的控制。这里所指的环境,是指广义的被控对象或过程及其外界条件。或者说,智能控制是一类无需(或仅需尽可能少的)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。可见,智能控制代表着自动控制科学发展的最新进展。智能控制的定义可以有多种不同的描述,但从工程控制角度看,它的三个基本要素是:智能信息、智能反馈和智能决策。从集合论的观点,可以把智能控制和它的三要素关系表示如下:

$$[\text{智能信息}] \cap [\text{智能反馈}] \cap [\text{智能决策}] \subseteq \text{智能控制}$$

智能控制是以知识为基础的系统,所以知识工程是研究智能控制的重要基础。

智能控制系统可以由以下三个主要智能层次所组成:

(1)组织层 表现系统的高级智能,以人工智能的功能为主体。组织级是多级智能控制系统的最高一级。对拟人任务进行人工智能概念的分析,再通过映射的方法把人工智能的概念转变为机器智能。通常用知识表述推理、规划、决策、记忆和学习等手段并通过低、高层次的反馈来进行修正,以达到预定的任务。

(2)协调层 高级和低级智能之间的接合,以人工智能和运筹学功能为主体。协调级可由多个特定协调块组成树状网络,一般没有推理功能。它的智能表现为如何按最好的方式执行组织级给定的规划动作。协调级的决策功能是对应于特定信息的处理方法,它是预先公式化的,不再在控制过程中加以改变。从执行级向协调级的信息反馈是实时的和在线的,这和组织级的离线反馈处理是不同的。

(3)执行层 在精度上具有高要求的最低一层,以系统理论的功能为主体。具体执行组织层的控制思想,只处理底层的特定信息,并将控制对象的状态进行监视。执行层要求精度高,信息处理快,因此其加入智能难度大、智能低。

1.1.3 智能控制与传统控制的关系

智能控制是自动控制的最新发展阶段,主要用来解决那些用传统控制方法难以解决的复杂系统的控制问题。智能控制与传统控制有着密切的关系,不是相互排斥的。智能控制力图扩充传统控制方法并建立一系列新的理论与方法来解决更具有挑战性的复杂控制问题。智能控制与传统控制相比较,它们的主要区别为下面三个方面。

(1)传统控制和智能控制的主要区别就在于它们能够达到控制不确定和复杂问题的能力方面,显然传统控制方法在处理复杂化、不确定性方面能力低且有时丧失了这种能力。相反,智能控制在处理复杂性、不确定性方面能力高。智能控制系统具有拟人的智能,这种智能主要表现在智能决策上。这就表明,智能控制系统的核心是去控制复杂性和不确定性,而控制的最有效途径就是采用仿人智能控制决策。

(2)传统控制为了控制必须建模,并且采用某个固定控制算法,使整个的控制系统置于模型框架下,缺乏灵活性和应变性,因此很难胜任对复杂系统的控制。智能控制的核心是控制决策,采用灵活机动的决策方式迫使控制朝着期望的目标逼近。也就是说,传统控制是基于被控对象精确模型的控制方式,这种方式可谓“模型论”,而智能控制方式相对于“模型论”可称之为“控制论”,这种控制论实际上是智能决策论。两种控制方式的基本出

发点不同,导致了不同的控制效果。

(3)在传统控制中,被控对象称做过程,它总是与控制器分离的。控制器由控制工程师设计,而对象则是给定的。智能控制中控制对象与控制器(或控制系统)不明显分离。控制规律可以嵌入对象之中而成为被控系统的一部分。这样,也为智能控制开辟了一种新的机会与挑战,有可能以更为系统化的方法来影响整个过程的设计。

传统的控制适于解决线性、时不变等相对简单的控制问题。这些问题用智能的方法同样也可以解决。智能控制是对传统控制理论的发展和提高,传统控制是智能控制的一个组成部分,在这个意义下,两者可以统一在智能控制的框架下。

1.2 智能控制系统的特征和性能

1.2.1 智能控制系统的一般结构

智能控制系统是实现某种控制任务的一种智能系统,其基本结构如图 1.2 所示。这是一种多层次结构的系统,图中广义对象表示通常意义下的控制对象和所处的外部环境。例如对于智能机器人系统来说,机器人手臂、被操作物体及所处环境统称为广义对象。感知信息处理部分将传感器递送的分级的和不完全的信息加以处理,这种处理可以是单个传感器的信息处理,也可能包括多种传感器的信息融合处理。并要在学习过程中不断加以辨识、整理和更新,以获得有用的信息。例如,对于智能机器人系统来说,传感器包括位置传感器、力传感器、触觉传感器、视觉传感器等。传感器获得的原始信息要经过很复杂的处理才能获得有用信息。认知部分主要接受和储存知识、经验和数据,并对它们进行分析推理,做出行动的决策并送至规划和控制部分。规划和控制部分是整个系统的核心,它根据给定任务的要求、反馈信息及经验知识,进行自动搜索、推理决策、动作规划,最终产生具体的控制作用,经执行部件作用于控制对象。

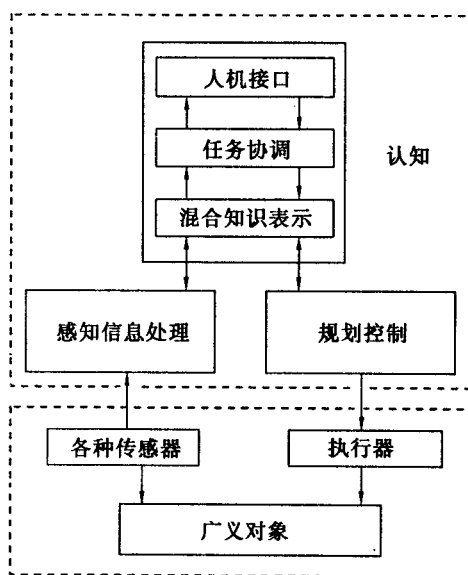


图 1.2 智能控制的基本结构

对于不同的用途的智能控制系统,以上各部分的形式和功能可能存在较大的差异。

1.2.2 智能控制系统的主要功能特征

智能控制的概念主要是针对被控系统的高度复杂性、高度不确定性及人们要求越来越

越高的控制性能提出来的。面对这样的要求,一个理想的智能控制系统应具有如下性能:

(1)学习性 系统对一个过程或一个未知环境提供的信息进行识别、记忆、学习,并利用积累的经验进一步改善自身性能的能力,即在经历某种变化后,变化后的系统性能应优于变化前的系统性能,这种功能类似于人的学习过程。智能控制系统的学习功能有高有低,低层次的学习功能主要包括对控制对象参数的学习,而高层次的学习则包括知识的更新和遗忘。

(2)适应性 系统应具有适应被控对象动力学特性变化、环境变化和运行条件变化的能力。这种智能行为实质上是一种从输入到输出之间的映射关系,可看成是不依赖模型的自适应估计,较传统的自适应控制中的适应功能具有更广泛的意义,它包括更高层次的适应性。当系统的输入不是已经学习过的例子时,由于它具有插补功能,从而可以给出合适的输出。

(3)容错性 对复杂系统(如非线性、快时变、复杂多变量和环境扰动等)能进行有效的全局控制,并具有较强的容错能力。系统对各类故障应具有自诊断、屏蔽和自恢复的功能。

(4)自组织性 对于复杂任务和分散的传感信息具有自组织和协调功能,使系统具有主动性和灵活性。即智能控制器可以在任务要求的范围内自行决策,主动采取行动。当出现多目标冲突时,在一定限制下,各控制器可在一定范围内自行解决。因此系统具有较好的主动性和灵活性,能满足多目标、高标准的要求。

(5)实时性 系统应具有相当的在线实时响应能力。

1.3 智能控制的主要研究内容

基于智能理论和技术已有的研究成果,以及当前的智能控制系统的研究现状,本书所涉及智能控制内容如下。

1. 分级递阶智能控制系统

分级递阶智能控制系统(Hierarchically Intelligent Control System)是在研究早期学习控制系统的基础上,并从工程控制论的角度总结人工智能与自适应、自学习和自组织控制的关系之后而逐渐形成的,是智能控制的最早理论之一。分级递阶智能控制系统是智能控制最早应用于工业实践的一个分支,它对智能控制系统的形成起到了重要作用。

已经提出两种分级递阶控制理论,即基于知识/解析混合多层智能控制理论和“精度递增伴随智能递减”的分级递阶智能控制理论。后者又称为 Saridis 分级递阶智能控制理论。在此,我们只对 Saridis 分级递阶智能控制理论进行介绍。

Saridis 分级递阶智能控制理论是由美国普渡大学教授 G.N.Saridis 于 1977 年提出的。作为一种认知和控制系统的统一方法论,其控制智能是根据分级管理系统中十分重要的“精度递增伴随智能递减”的原理而分级分配的。该系统由组织级、协调级和执行级组成。组织级起主导作用,涉及知识的表示与处理,主要应用人工智能;协调级在组织级和执行级间起连接作用,涉及决策方式及其表示,采用人工智能及运筹学实现控制;执行级是底

层,具有很高的控制精度,采用数学解析控制算法,即常规自动控制。

2. 专家控制系统

专家系统是人工智能的重要分支,其核心是知识工程。工程控制论与专家系统的结合形成了专家控制系统(ECS, Expert Control System)。专家控制系统是一种已广泛应用于故障诊断、各种工业过程控制和工业设计的智能控制系统。专家控制的实质是基于控制对象和控制规律的各种专家知识,并以智能方式利用这些知识使控制系统尽可能优化和实用化。因此专家控制又称做基于知识的控制或专家智能控制。

根据专家系统技术在控制系统中应用的复杂程度,可以分为专家控制系统和专家式控制器两种主要形式。前者采用黑板模型等结构,知识库庞大,推理机复杂,造价较高,因而目前用的较少;后者多为工业专家控制器,结构较为简单,又能满足工业过程控制的要求,因而应用日益广泛。

3. 模糊控制系统

模糊逻辑理论在控制领域的应用称为模糊控制(FC, Fuzzy Control)。模糊控制是一种正在兴起的能够提高工业自动化能力的控制技术。模糊控制系统是智能控制的一个十分活跃的研究领域。凡是无法建立数学模型或难以建立数学模型的场合都可以采用模糊控制技术。

模糊控制的特点是:一方面,模糊控制提供了一种实现基于自然语言描述规则的控制规律的新机制;另一方面,模糊控制器提供了一种改进非线性控制器的替代方法,这些非线性控制器一般用于控制含有不确定性和难以用传统非线性理论来处理的装置。模糊控制以模糊数学、模糊语言形式的知识表示和模糊推理为理论基础,其核心是模糊推理,它主要依赖模糊规则和模糊变量的隶属度函数。模糊控制单元由规则库、模糊化、模糊推理和清晰化四个功能模块组成。模糊化模块实现对系统变量论域的模糊划分和对清晰输入值的模糊化处理。规则库用于存储系统的基于语言变量的控制规则和系统参数。模糊推理是一种从输入空间到输出空间的非线性映射关系。

4. 神经网络控制系统

基于人工神经网络的控制(ANN-Based Control),简称神经网络控制或神经控制。

人工神经网络采用仿生学的观点与方法来研究人脑和智能系统的高级信息处理。基于神经网络的控制器,其控制问题可以看做是一类模式识别问题。要识别的模式是一些关于受控的状态、输出或某个性能评价函数的变化信号。这些信号经神经网络映射成控制信号,即使在神经网络输入信息量不充分的情况下,也能快速地对模式进行识别,产生适当的控制信号。控制效果由系统的评价函数来反映,该函数作为一类变化信号输入神经网络,以作为神经网络的学习算法或学习规则。

目前,对神经网络控制的研究十分活跃,神经网络控制也是智能控制的一个重要的研究方向。

5. 进化计算与遗传算法

进化计算是在生命科学与工程科学的相互交叉、相互渗透、相互促进的过程中产生的,它是用生物进化自然选择过程中所表现出来的优化规律和方法来研究复杂的工程技术领域或其他领域所提出的且传统优化理论和方法又难以解决的优化问题。进化计算包

括遗传算法、进化规划、进化策略三方面的内容,这三种算法在计算中的迭代过程大体相同,都包含了编码、选择、交换、变异等过程,其中遗传算法在进化计算中占有重要地位。

遗传算法是基于自然选择和基因遗传学原理的搜索算法。它将“适者生存”这一基本的达尔文进化理论引入串结构,并且在串之间进行有组织但又随机的信息交换。伴随着算法的运行,优良的品质被逐渐保留并加以组合,从而不断产生出更佳的个体。这一过程就如生物进化那样,好的特征被不断地继承下来,坏的特性被逐渐淘汰。新一代个体中包含着上一代个体的大量信息,新一代的个体不断地在总体特性上胜过旧的一代,从而使整个群体向前进化发展。对于遗传算法,也就是不断地接近于最优解。遗传算法的主要特点是群体搜索策略和群体中个体之间的信息交换,搜索不依赖于梯度信息。它尤其适用于传统搜索方法难以解决的复杂和非线性问题,可广泛用于组合优化、机器学习、自适应控制、规划设计和人工生命等领域。

6. 集成智能控制系统

由几种智能控制方法或机理融合在一起而构成的智能控制系统称为集成智能控制系统,举例如下。

(1) 模糊神经(FNN)控制系统

模糊系统具有容易被人理解的表达能力,而神经网络则有极强的自适应学习能力。模糊神经控制系统根据模糊系统的结构,决定等价结构的神经网络,即将模糊系统转换为对应的神经网络,把两种智能方法融合在一起,相互取长补短,从而提高整个系统的学习能力和表达能力。

(2) 基于遗传算法的模糊控制系统

遗传算法是一种基于自然选择和自然遗传机制,根据“适者生存”理论而形成的一种创新的人工优化搜索算法,是一种向过去性能学习的方法,有很强的鲁棒性。

模糊控制是基于模糊集合论,模拟人的近似推理的方法。但是其控制规则在推理过程中是不变的,不能适应对象变化的情况。将遗传算法的优化搜索技术和模糊推理机制有机地结合在一起,就可使模糊推理规则根据实际情况做出相应变化,从而赋予模糊控制器自动获取模糊推理知识的能力。

这种基于遗传算法优化的模糊控制器可采用等价的神经网络来实现。

(3) 模糊专家系统

模糊专家系统是一类在知识获取、知识表示和知识处理过程中全部或部分地采用了模糊技术的专家系统的总称。

由于模糊专家系统中的知识表达与推理更接近人类(领域专家)表达知识及解决问题的思维方式,因而容易开发与实现。

模糊专家系统的特点是能在初始信息不完全或不十分准确的情况下,较好地模拟人类专家解决问题的思路和方法,运用不太完善的知识体系,即可能性理论,给出尽可能准确的解答和提示。

1.4 智能制造技术和智能制造系统

1.4.1 智能制造技术和智能制造系统的基本概念

智能制造在国际上尚无公认的定义。目前比较通行的一种定义是,智能制造技术是指在制造工业的各个环节,以一种高度柔性 with 高度集成的方式,通过计算机来模拟人类专家的制造智能活动,对制造问题进行分析、判断、推理、构思和决策,旨在取代或延伸制造环境中人的部分脑力劳动;并对人类专家的制造智能进行收集、存储、完善、共享、继承和发展。

从控制理论的观点来看智能制造系统(IMS, Intelligent Manufacturing System)和智能制造技术(IMT, Intelligent Manufacturing Technology),可以认为是智能控制理论在制造系统中的应用。但是 IMS 和 IMT 还远不只是控制问题,还有制造工艺和方法、信息集成和传递等方面的问题,是一种高技术的综合。

20 世纪 50 年代末期,机械制造技术开始进入现代制造技术阶段。40 多年来机械制造技术有了长足的进展。表现为四个概念和形式有较大更新的阶段:

(1)直接数字控制(DNC)技术:20 世纪 60 年代末形成了机床的数控技术,实现了机床加工过程自动化。

(2)柔性制造系统(FMS):机床装置了工件和刀具的自动更换系统,实现了计算机在线的机床加工过程调度和规划,出现了完善的加工中心。

(3)计算机集成制造系统(CIMS):CIMS 的特点是 CAD、CAPP 和 CAM 技术的综合以及管理、经营、计划等上层生产活动的集成。该项技术目前已有一些投入工厂的运行。

(4)智能制造系统(IMS)和智能制造技术(IMT):这种制造系统可以在确定性受到限制的或没有先验知识的、不能预测的环境下,根据不完全的、不精确的信息来完成拟人的制造任务。这是 20 世纪 80 年代以来由高度工业化国家首先提出的开发性技术和项目。

上述发展的前两阶段的特征是以取代制造过程中人的体力劳动为目标的自动化技术。而后两个阶段,特别是 IMS 是以取代制造中人的脑力劳动为目标的自动化技术。目前由于科学技术发展水平的限制,在制造过程中人的因素未得到充分的认识,一方面表现为智力资源不足,另一方面表现为智力资源的大量浪费。专家人才、熟练的技术工人的短缺,制造工具的低智能水平以及人们对制造过程物理本质的认识都表现了智力资源不足。另一方面,人才的走、老、病、死,制造环境的限制,知识的非规范化限制,机器理解的缺乏等又浪费了大量的制造经验和知识。简单地说,IMS 就是要把人的智能活动变为制造机器的智能活动。具体地说,IMS 就是要通过集成知识工程、制造软件系统、机器人视觉和机器人控制等来对制造技术的技能与专家知识进行集成,以使智能机器在没有人工干预情况下进行生产。

1.4.2 智能制造技术和智能制造系统的主要内容

与 IMS 相比,CIMS 强调的是材料流和信息流的集成,而 IMT 强调的是制造系统的自