

● 杨汝清等 编著

智能控制工程

上海交通大学出版社

上海交通大学“九五”重点图书

智能控制工程

杨汝清 等编著

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书从工程应用角度出发,介绍了智能控制的主要内容,包括知识工程、专家控制系统、模糊控制、人工神经网络控制以及以智能机器人为背景的多传感器集成与信息融合、智能控制体系结构及柔性装配中的控制技术。

本书兼顾课堂教学和自学的特点,尽量采用深入浅出的分析和示例代替较为深奥的数学描述,以便读者较容易地掌握本书的主要内容。

本书可作为大专院校机械电子工程、工业自动化、自动控制及计算机应用等专业的本科生及研究生的教材和参考书,也可供有关教师、科研及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

智能控制工程/杨汝清等编著. —上海:上海交通大学出版社,2001
ISBN 7-313-02585-4

I. 智… II. 杨… III. 智能控制 IV. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第 59488 号

智能控制工程

杨汝清等 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

常熟市印刷二厂印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:13.25 字数:323 千字

2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月第 1 次印刷

印数:1~1050

ISBN7-313-02585-8/TP·445 定价:22.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

随着社会及科学技术的发展,现代系统的复杂性,测量的不准确性及系统动力学的不确定性,常常使得传统的控制理论与方法显得无能为力。智能控制就是在这种形势下出现的一门新技术,它是许多学科的交叉,得益于人工智能、自动控制理论等许多学科,目前正处于一个快速发展阶段。

由于智能控制的思想和方法比较接近人类的思维,因此许多工程技术人员非常有兴趣进行工程应用尝试。但是,从人工智能和自动控制等学科延续下来的许多较深奥理论又使他们望而生畏,因此,智能控制的“神秘”感使其成为工程应用的一种障碍。根据作者多年的实践和教学体会,许多只掌握人工智能和控制理论初步知识的人,通过工程实例的引导,也可以比较快地掌握智能控制的原理和方法,较快地进入工程角色,而在工程应用中又得到提高和深化。因此,许多学者都认为,在研究智能控制理论的同时,应更多地研究和总结智能控制工程知识,使智能控制能在实践中普及和更快地发展。

本书内容自1995年开始在上海交通大学有关专业的博士生、硕士生和本科试点班中开始讲授。本书于1998年被列为学校“九五”重点教材,这次出版在原有教材基础上作了修改与补充。全书共分六章,第1章概述人工智能、智能工程和智能控制的概况;第2章和第3章介绍知识工程的主要内容、专家系统和专家控制系统的结构及实现方法;第4章介绍模糊控制的基本原理、设计方法及应用实例;第5章介绍人工神经网络的基本结构和用于控制的几种神经网络模型及其应用;第6章以智能机器人为背景,介绍多传感器集成和信息融合,智能控制的体系结构及柔性装配中的一些智能控制问题。

本书第1章,第2章,第3章的第2、3节及第4章由杨汝清教授编写;第3章的第1节及第6章的第1节由杨明博士编写;第5章由庞川博士、顿向明博士合作编写;第6章第2节由王天然研究员编写,第3节由张伟军博士编写。张伟军博士对第6章进行了统稿。全书由杨汝清教授统稿。博士生孙斌、高建华、谈世哲等做了大量协助工作。

本书编写出版过程得到了蔡鹤泉院士、席裕庚教授和上海交通大学教务处及有关人员的大力支持,同时,在编写过程中,我们参阅和引用了许多国内外同行们的学术论文和著作,大大加快了编写过程,编者在此表示深深的感谢。

由于笔者水平有限,经验不足,书中必有不少错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

作 者

2000年10月

目 录

第 1 章 引论	1
1.1 人工智能	1
1.1.1 从人机大战“深蓝”胜卡斯帕罗夫谈起	1
1.1.2 人工智能的起源与发展	2
1.1.3 人工智能的研究途径	4
1.2 智能工程	5
1.2.1 智能工程的提出	6
1.2.2 智能工程与人工智能	7
1.2.3 智能制造系统	8
1.3 智能控制	8
1.3.1 智能控制与自动控制	8
1.3.2 智能控制系统结构	9
1.3.3 智能控制研究的数学工具	10
1.3.4 智能控制涉及的主要内容	11
第 2 章 知识工程基础	14
2.1 知识表示	14
2.1.1 规则式(产生式)表示法	14
2.1.2 语义网络表示法	15
2.1.3 框架表示法	17
2.2 知识利用	21
2.2.1 推理	21
2.2.2 搜索	24
2.2.3 搜索示例	25
2.3 知识获取	27
2.3.1 机器学习	27
2.3.2 机械学习	30
2.3.3 示例学习	31
第 3 章 专家系统及专家控制系统	36
3.1 专家系统原理与结构	36
3.1.1 专家系统原理	36
3.1.2 专家系统基本结构	39

3.1.3 黑板模型·····	41
3.2 专家系统的实现·····	43
3.2.1 专家系统建立原则·····	43
3.2.2 专家系统建立步骤·····	45
3.2.3 专家系统评价·····	46
3.2.4 专家系统在机械设备故障诊断中的应用·····	48
3.3 专家控制系统·····	50
3.3.1 专家控制系统基础·····	50
3.3.2 直接专家控制系统·····	53
3.3.3 间接专家控制系统·····	60
第4章 模糊控制 ·····	65
4.1 概述·····	65
4.1.1 模糊集合及其表示方法·····	65
4.1.2 模糊集合的运算·····	67
4.1.3 隶属函数的确定方法·····	69
4.1.4 模糊语言变量及模糊推理·····	74
4.2 模糊控制原理·····	78
4.2.1 模糊控制系统的组成·····	78
4.2.2 输入模糊化·····	80
4.2.3 模糊推理决策·····	80
4.2.4 逆模糊化·····	83
4.3 模糊控制器的设计与实现·····	84
4.3.1 倒单摆平衡的模糊控制·····	84
4.3.2 模糊控制器设计的一些问题·····	87
4.3.3 模糊控制芯片及模糊控制软件开发工具·····	94
4.4 模糊控制应用实例·····	107
4.4.1 模糊控制全自动洗衣机·····	107
4.4.2 模糊控制在磨削加工中的应用·····	113
第5章 人工神经网络 ·····	118
5.1 概述·····	118
5.1.1 神经网络简介·····	118
5.1.2 脑神经网络及人工神经网络·····	119
5.1.3 M-P 神经元模型与人工神经网络的构成·····	122
5.2 神经网络的学习方法·····	123
5.2.1 基本的学习机理·····	123
5.2.2 学习方式·····	125
5.2.3 学习规则·····	125

5.3 神经网络的模型与算法	127
5.3.1 感知器(Perceptron)网络	127
5.3.2 多阶层网络与误差逆传播算法	128
5.3.3 Hopfield 神经网络	131
5.3.4 脑模型控制器	135
5.4 基于神经网络的智能控制	138
5.4.1 引言	138
5.4.2 用作控制器的神经网络结构	138
5.4.3 用作对象模型的神经网络控制结构	139
5.5 神经网络控制实例	141
5.5.1 复杂曲面车削精度的神经网络控制	141
5.5.2 冰柜温度智能控制系统	143
第6章 智能机器人	147
6.1 多传感器集成和信息融合	147
6.1.1 引言	147
6.1.2 多传感器集成与信息融合的概念	148
6.1.3 发展历史及研究现状	149
6.1.4 在机器人中的应用实例	151
6.1.5 多传感器集成系统	153
6.1.6 信息融合的结构	156
6.1.7 信息融合的方法	162
6.1.8 典型的多传感器信息融合	167
6.2 智能机器人的体系结构	169
6.2.1 控制精度与智能能力分解原则	170
6.2.2 时间功能原则	171
6.2.3 行为响应	173
6.2.4 行为原则	174
6.2.5 OSMOR 系统	176
6.2.6 小结	181
6.3 机器人装配	181
6.3.1 引言	181
6.3.2 柔顺控制原理	183
6.3.3 被动柔顺和主被动复合柔顺	185
6.3.4 机器人的力/位置混合控制	189
6.3.5 阻抗控制	194
6.3.6 装配作业过程中主动柔顺控制方法	198
参考文献	202

第 1 章 引 论

为了更好地学习智能控制工程,本章先介绍人工智能、智能工程 and 智能控制的概况。

1.1 人工智能

人工智能是一门新兴的、具有广泛学科交叉的前沿学科。随着计算机科学与技术的发展以及一些新思想、新概念的出现,使得人工智能这门学科得到了迅速发展。尽管在其发展过程中有着许多争论和困难,但它的出现及其所取得的成就引起了人们的高度重视,有人把它与原子能技术、生物技术、空间技术誉为 20 世纪四大科学技术成就,有人把它称为实现脑力自动化的又一次工业革命,不管评价是否确切,它的产生与发展以及其巨大的前景已为人们所接受。

1.1.1 从人机大战“深蓝”胜卡斯帕罗夫谈起

1991 年 8 月在悉尼第 12 届国际人工智能联合会议上,当 IBM 公司的“深思 II”以 1:1 平澳大利亚国际象棋冠军约翰森时,人们对人工智能的水平还没引起足够的重视,而当 1997 年 5 月 IBM 公司的“深蓝”以 3.5:2.5 总比分胜国际象棋世界冠军卡斯帕罗夫时,引起了世人一片喧哗。因为棋艺虽属雕虫小技,但却是人类智慧的代表,当一台没有生命的机器竟赢了人类最高智慧的代表时,一方面,一些人在兴高采烈,庆祝人工智能的胜利;另一方面,一些人在忧心忡忡,反复思考这对人类带来的是祸还是福,绅士翩翩的卡斯帕罗夫发誓要捍卫象棋的尊严而要继续向“深蓝”挑战。

下棋的确是一个斗智、斗策的智力运动,棋手除了要有超凡的记忆能力和丰富的下棋经验外,还需要很强的思维能力,要有面对千变万化局势作出快速有效处理的能力。这对人类来说的确是一种智能的表现。

从工程角度来说,人工智能就是要用人工的方法使机器具有与人类智慧有关的功能,如判断、推理、证明、感知、理解、思考、识别、规划、设计、学习和问题求解等思维活动。它是人类智慧在机器上的模拟。

计算机本身就是人类智慧的结晶,它的运算能力和存储记忆能力早就超过了人类。“深蓝”可以每秒钟分析 2~3 亿步棋,可以储存几千场棋赛的资料,而下棋的本质是一种推理性计算,这正是计算机的“强项”,因此,人类输棋不过是迟早的事,棋王们也用不着去耿耿于怀。“深蓝”五人研制小组的负责人,出色的华裔科学家谭崇仁及主要研制人员、曾在以人工智能研究著称的美国卡内基-梅隆大学深造的许雄峰,都谦虚地说,“深蓝”还谈不上智能,不过是推理计算能力强一点而已,并理智地宣布,“深蓝”不再参加比赛。目前普遍认为,人的智能是多方面的,除了抽象思维和逻辑思维以外,还有更重要的形象思维及包括灵感和直觉的创造性思维。这些都是计算机在很长时间内无法与人类大脑相比拟的。“深蓝”成功地实现了人类智能的部分模拟,在人工智能研究的道路上应该说迈出了可喜的一步。

至于在 1999 年上海“财富”论坛上,为索尼公司总裁大为露脸的智能机器狗“阿宝”,虽然

它在与人类的交流中,能通过充满灵性的动作和声音表达出自己的喜、怒、哀、乐和恐惧等多种感情,并且还能通过学习自我完善,形成与主人相适应的习性,然而许多学者还认为这仍只能算“雕虫小技”,与真正的人工智能技术相差甚远。用机器狗“阿宝”来与“人工智能”齐名,是有一点有辱斯文,但索尼公司把一些比较成熟的人工智能研究成果用在“阿宝”身上,不能不说这是人工智能在工程应用方面迈出了同样可喜的一步。

1.1.2 人工智能的起源与发展

自1956年“人工智能”作为一门新兴学科正式提出以来,经历了起伏的发展过程,简单地可以分为以下几个阶段。

1. 1956年前的孕育期

(1) 从公元前伟大的哲学家亚里士多德(Aristotle)到16世纪英国哲学家培根(F. Bacon),他们提出的形式逻辑的三段论、归纳法以及“知识就是力量”的警句,都对人类思维过程的研究产生了重要影响。

(2) 17世纪德国数学家莱布尼兹(G. Leibniz)提出了万能符号和推理计算思想,为数理逻辑的产生和发展奠定了基础,播下了现代机器思维设计思想的种子。而19世纪的英国逻辑学家布尔(G. Boole)创立的布尔代数,实现了用符号语言描述人类思维活动的基本推理法则。

(3) 20世纪30年代迅速发展的数学逻辑和关于计算的新思想,使人们在计算机出现之前,就建立了计算与智能关系的概念,被誉为人工智能之父的英国天才的数学家图灵(A. Turing)在1936年提出了一种理想计算机的数学模型,即图灵机之后,1946年就由美国数学家莫克利(J. Mauchly)和埃柯特(J. Eckert)研制出了世界上第一台数字计算机,它为人工智能的研究奠定了不可缺少的物质基础。1950年图灵又发表了“计算机与智能”的论文,提出了著名的“图灵测试”,形象地指出什么是人工智能以及机器具有智能的标准,对人工智能的发展产生了极其深远的影响。

(4) 1934年美国神经生理学家麦克洛奇(W. McCulloch)和匹兹(W. Pitts)建立了第一个神经网络模型,为以后的人工神经网络研究奠定了基础。

2. 1956年至1969年的诞生发育期

(1) 1956年夏季,麻省理工学院(MIT)的麦卡锡(J. McCarthy)、明斯基(M. Minsky)、塞尔夫里奇(O. Selfridge)与索罗门夫(R. Solomonoff)、IBM的洛切斯特(N. Lochester)、莫尔(T. More)与塞缪尔(A. Samuel)、贝尔实验室的香农(C. Shannon)、卡内基-梅隆大学(CMU)的纽厄尔(A. Newell)与西蒙(H. Simon)等10人在美国的达特茅斯大学(Dartmouth)举办了一个长达两个月的关于机器智能的研讨会,会上统一使用了人工智能(Artificial Intelligence)这一术语,用它来代表有关机器智能这一研究方向,标志了人工智能学科的正式诞生。

(2) 1956年至1969年间,塞缪尔研制了能自学习的跳棋程序,1959年它击败了塞缪尔本人,1969年又击败了一个州的冠军。

(3) 1956年至1965年间,纽厄尔和西蒙研制的称为“逻辑理论家”的程序,证明了“数学原理”中的38个定理;1958年美籍华人数理学家王浩在计算机上仅用5分钟就证明了“数学原理”中的有关命题演算的全部220条定理;1960年纽厄尔和西蒙在心理学实验的基础上,研制

成了一种不依赖具体领域的通用问题求解程序 GPS,可以求解 11 种不同类型的问题;1965 年鲁滨逊(J. Robinson)提出了消解原理,为定理的机器证明作出了突破性的贡献。

(4) 1956 年至 1968 年间,斯坦福大学的费根鲍姆(G. Feigenbaum)教授首先开展了专家系统的研究,他们研究成功的 DENDRAL 专家系统能根据质谱仪的实验,通过分析推理决定化合物的分子结构,其能力相当于化学专家的水平。

(5) 1969 年国际人工智能联合会议(International Conferences On Artificial Intelligence)成立,它标志着人工智能这门新兴学科得到了世界范围的公认。

3. 1970 年以后的起伏发展期

20 世纪 70 年代,人工智能进入发展期,许多国家都相继开展了这门新兴学科的研究工作。60 年代一连串的胜利,使人工智能的学者们兴高采烈,也使公众对人工智能提出了更高的期望,但是事情发展远非如此。塞缪尔的下棋程序当了州级冠军之后,与世界冠军对弈时就从没有赢过。最有希望出实质性成果的自然语言翻译也问题不断,人们原以为只要用一部双向字典和一些语法知识就可能解决自然语言的互译问题,结果发现机器翻译闹出了不少笑话。例如,把“Time flies like an arrow”(光阴似箭)变成了“苍蝇喜欢箭”,把“Out of sight, out of mind”(眼不见,心不烦)变成了“又瞎又疯”,把“The spirit is willing but the flesh is weak”(心有余而力不足)变成了“酒是好的,但肉变坏了”等等,以至于有人挖苦说,美国花了 2000 万美元为机器翻译建立了一块墓碑。被公认为有“重大突破”的消解法,也因其局限性不能适应现实世界诸多问题,在神经网络、机器学习研究方面也遇到了种种困难,舆论的谴责,经费的缺乏,使人工智能研究一时陷入了困境。

人工智能的科学家们开始对过去的战略思想和主要技术进行总结和反思,费根鲍姆关于以知识为中心开展人工智能研究的观点为大多数人所接受,研究人员基本达成了共识,即人工智能系统是一个知识处理系统。而知识表示、知识利用和知识获取则是人工智能系统的三个基本问题。从此,人工智能研究又迎来了一个以知识为中心的蓬勃发展的新时期。

随着 DENDRAL 专家系统的成功,一大批专家系统从各个领域各个方面涌现出来,从医学、数学、生物工程到地质探矿、气象预报、地震分析、过程控制、系统设计、工程测试与分析以及情报处理、法律咨询和军事决策,一个个成功的系统都带来了巨大的经济效益和社会效益,令世人刮目相看。同时,由于对知识的表示、利用、获取等方面的研究取得较大进展,特别是对不确定性知识的表示与推理取得了突破,建立了诸如主观 Bayes 理论、确定性理论、证据理论、可能性理论等一系列新理论,这为模式识别、自然语言理解等其他领域的发展奠定了基础,解决了许多理论和技术上的问题。人工智能又向人们展示了广阔的应用前景,社会上对人工智能的兴趣开始与日俱增。此时,人工智能研究经费充足,经营人工智能产品的公司纷纷成立,人工智能的研究队伍也迅速扩大。比如 1987 年在意大利召开的第十届国际人工智能会议,与会人数竟超过了 5000 人,在一片乐观情绪的影响下,欧、美、日本等国都先后制订了一批有关人工智能的大型项目,都争相在人工智能方面取得更为突破性的进展。其中,美国的 ALV (Autonomous Land Vehicle)和日本的第五代计算机就是其中最典型的代表。

但是好景不长,这些计划到 80 年代中期,大多遇到了技术困难,而这些技术问题的难度之大是当时人工智能技术所不能解决的。正如张钹院士在《近十年人工智能进展》一文中指出的那样,有两个根本性的问题,一是所谓的交互(interaction)问题,即传统方法只能模拟人类深思

熟虑的行为,而不包括人与环境的交互行为。美国的 ALV 计划试图建造一种能在越野环境下自主行驶的车辆,这种车辆必须具备与环境交互的能力,以适应环境的不确定性和动态变化。根据传统人工智能的方法建立的系统,基本上不具备这种能力,这就是 ALV 计划遇阻的根本原因。另一个问题是所谓扩展(scaling up)问题,即传统人工智能方法只能适合于建立领域狭窄的专家系统,不能把这种方法简单地推广到规模更大、领域更宽的复杂系统中去。日本第五代计算机计划的中止原因也在于此。由于这两个基本问题的存在,使人工智能研究又进入了低谷,人工智能又一次陷入了“信任危机”。

顽强的人工智能学者们在低谷中又一次反思,更全面地检查了 30 年来在目标、内容和方法上存在的问题,各抒己见,百家争鸣,在未来探索的道路上又迈开了大步。

80 年代中期到 90 年代初麻省理工学院的布鲁克斯的(R. Brooks)以其进化理论提出了“没有表达的智能”和“没有推理的智能”,从而成为行为主义学派的代表,他们认为智能取决于感知和行动,他们研制成功的机器虫应付复杂环境的能力超过了现有的许多机器人,为解决所谓“交互”问题的重要希望,而反馈机制的引进和神经网络的重新崛起,也为解决“交互”问题提供了重要方法。

90 年代人工智能学者提出的综合集成(metasythesis)和智能体(agent)概念为解决所谓“扩展”问题开辟了新的道路。以钱学森、戴汝为院士为代表的我国学者,从社会经济学系统、人体系统等复杂系统中提炼出开放复杂巨型智能系统的概念,并提出从定性到定量的综合集成方法,引起了国际学者的广泛关注,中国科学家正在为人工智能的发展作出应有的贡献。

不管人工智能的发展处于低谷还是高潮,它始终是以极大的冲劲螺旋式上升,短短几十年取得的成绩已经向世人展示了其极具光明的前景,一场以脑为中心的科技革命——智能革命已悄悄兴起,人类文明将进入更加辉煌的年代。

1.1.3 人工智能的研究途径

人工智能研究的不同途径反映了人工智能研究的观点与方法,它有力地促进人工智能这门新兴学科不断发展。

从一般观点来看,人工智能的研究途径主要有以下三大派。

1. 符号主义(Symbolicism)

这是以符号处理为核心,以数学逻辑为基础的人工智能主流派,是计算机模拟人类智能的必然产物,它的代表人物是 CMU 的纽厄尔、西蒙及斯坦福研究所的尼尔逊(Nilsson)。其指导思想是,人工智能的研究目标既然是实现机器智能,那么计算机本身就具有符号处理的推算能力,因而可以通过符号程序设计来实现某种基于逻辑思维的智能行为,达到模拟人类智能活动的效果,其代表性成果就是前面提及的“逻辑理论家”和通用求解程序 GPS。

2. 联结主义(Connectionism)

联结主义是一种建立在生物神经元基础上的智能模型,认为人的思维基元是神经元,而不是符号处理过程。主张人工智能应着重于结构模拟,即模拟人的神经网络结构,认为功能、结构和智能行为是密切相关的,不同的结构表现出不同的功能和行为。人工神经网络研究的新进展,为联结主义提供了强有力的支持和实现条件。

3. 进化主义 (Evolutionism)

它是一种基于生物体行为的智能模型,认为人工智能可以像人类智能一样逐步进化,并认为智能取决于感知和行动,因此也称之为行为主义。他们认为符号主义、联结主义对真实客观事物的描述及智能行为模式过于抽象,因而不能真实反映客观存在的事物。其代表人物布鲁克斯的理论核心是用控制取代表示,从而取消概念、模型,并且强调分层结构对智能进化的可能性与必要性。他认为机器的智能应表现在对环境刺激的及时反应上,表现在对环境的适应以及复杂环境中的生存能力,强调智能体应当工作在它的现场中,通过与环境的交互表现并增长它的智能,布鲁克斯的探索性工作代表了人工智能一个新的研究方向——现场人工智能 (Situated AI) 的诞生。

由于 MIT 的布鲁克斯的人工智能观点与传统的人工智能看法完全不同,因此有人把目前人工智能的研究方向分为传统人工智能与现场人工智能两大方向。

以 CMU 为代表的传统人工智能观点认为,智能是表现在对环境的深刻理解以及深思熟虑的推理决策上,因此智能系统需要有强有力的传感和计算设备来支持复杂的环境建模和寻找正确答案的决策方案。他们采用的是:环境建模—规划—控制的所谓的纵向体系结构。

现场人工智能强调的是智能体与环境的交互,为了实现这种交互,智能体一方面要从环境获取信息,另一方面要通过自己的动作对环境施加影响。显然,这种影响行为并不是深思熟虑的,而是一种反射行为。他们采用的是:感知—动作的横向体系结构。他们研制的一批小型的移动机器人与 CMU 研制的移动机器人形成了强烈的反差。CMU 一方使用的是大卡车,上面装有高速计算机、激光雷达、彩色摄像机和全球卫星定位系统 GPS 等一批大型设备;而 MIT 一方则用的是玩具车,上面装的是单板机、红外传感器及接触开关等小器件。一方说,你那只是一种小玩具,仅作表演而已,最多也只能创造出智能昆虫行为,而无法创造人的智能行为;另一方说,你的机器人固然很大,因离实用更远,不过是大玩具而已。应该说,MIT 用比 CMU 简单得多的设备却做出了与其相当的移动机器人,这一点就比 CMU 高明。更何况这些聪明的机器虫已为布鲁克斯的公司带来了可观的利润。

CMU 的 T. Kanade 等人也不是等闲之辈。1995 年 6 月至 7 月间,他们推出了一项极为成功的实验,他们研制的一辆视觉导引小汽车,从匹兹堡校园开始,日夜兼程,风雨无阻,行程 2849 英里,成功地“自动”横穿全美国,沿着高速公路到达了目的地洛杉矶,轰动了美国。虽然,高速公路的条件比较有利,而且实际驾驶中有 1.8% 的里程由人进行了干预,但人工智能的学者和美国汽车公司的老板们对此仍给予了很高的评价。连同多年前他们那个火山探险的六足机器人,谁也不能否认他们在人工智能特别在综合集成方面作出的骄人业绩。

应该说,现场人工智能的出现,不能说是传统人工智能的否定,而应该看作是对传统人工智能的补充与发展。当下一个布鲁克斯出现的时候,布鲁克斯的现场人工智能可能也纳入了传统人工智能的范畴,而一个新的方向又在努力推动人工智能的发展。

1.2 智能工程

1987 年,现工作在加拿大阿尔伯特大学的 M. Rao 教授提出了智能工程 (Intelligent Engineering),标志着这一门新兴的计算机应用学科的正式诞生。80 年代开始,人们面对越来越复

杂的工业自动化系统,在信息处理及一般性决策方面,显得越来越力不从心。人们期望着,在人类专家知识的水平上,借助计算机来完成大量的决策工作,保证大规模、复杂的自动化系统能更高效地运行,许多计算机、自动化的专家及工程师们,在这强力的工业发展背景下,经过艰苦的努力,在计算机数值计算技术和人工智能科学的基础上,逐渐形成了这门智能工程学科,为工业自动化以及社会、经济等其他领域的深层次发展开辟了一条更新的道路。

1.2.1 智能工程的提出

工业自动化的发展,大致有以下四个阶段。

1. 劳动密集型工业

这是工业自动化生产的初期,其特点是利用大量人力,操作简单的设备从事工业生产。由于简单的机电设备没有自动控制能力,因此生产效率低,产品质量和数量决定于操作者技能。

2. 设备密集型工业

这是工业自动化生产的发展期,由于使用大量的自动化程度比较高的设备,生产效率有了很大的提高,人已不需要进行直接操作,而是主要做一些维修、调整和辅助性工作,其代表性的自动化设备是数控机床和加工中心。在这阶段,企业的生产效率主要是靠单机自动化设备的数量和质量。

3. 信息密集型工业

这是工业自动化生产的快速发展阶段。随着计算机技术的日新月异,计算机广泛地应用于生产第一线,代替人进行复杂的数据处理等繁重工作。这阶段的代表技术有计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺规划(CAPP)、计算机辅助制造(CAM)及柔性制造系统(FMS)等。人们把复杂的数据和图形处理工作(如有限元分析、优化设计、图形仿真等)交给了计算机,而自己则从事更为重要的方案设计、分析判断等决策性工作,使生产效率有了更大的提高。但是企业的竞争并不只局限于生产,资金的流通、市场的反映能力同样牵制着企业的命运,因此信息密集型工业很快地往更高阶段发展。

4. 知识密集型工业

这是工业自动化生产发展的高级阶段。随着工业生产迅速走向大规模、集成化和复杂化,人的决策已跟不上形势发展的需要,用机器代替人脑进行决策就成为一种发展需要。即时生产(Just In Time)、并行工程(Concurrent Engineering)以及计算机集成制造系统(CIMS)的提出,实际上就是把接受订单、制定生产计划、产品设计、工艺规划、加工装配、检验销售及售后服务等一整套技术管理、生产管理、经营管理集成起来,形成了高度的决策自动化,以适应企业世界范围竞争的需要。

工业自动化生产发展的四个阶段是机器从代替人的四肢和感官,发展到代替人脑的过程,这也是智能工程提出的坚实基础。

1.2.2 智能工程与人工智能

智能工程与人工智能既有联系又有区别。

1. 智能工程与人工智能的区别

人工智能是一门理论研究性导向的科学。它研究的目的是使机器智能化,即用计算机模拟人的智能。人工智能科学家不仅要创造出智能机器,而且还要分析理解智能的本质和机理,对各种不同的计算和计算描述方法都要进行深入研究,他们注重研究智能活动过程的机理,具有严格的逻辑性和推理,并注重人工智能的普遍适用性。

智能工程则是一门应用性导向的工程学科。它研究的目的是利用人工智能的成果去解决实质问题。智能工程师们更注重人类活动的宏观和外在表现,力图用带有智能的计算机自动地去解决人类面临的复杂问题。因此他们强调宏观的过程和效果,着重解决问题的结果,并不着重于进行人类活动的机理性研究。

从研究内容方面来讲,人工智能广泛地研究人类的智能活动,如图像识别、自然语言理解、问题求解、判断、学习、规划、设计等等,它涉及到众多的基础学科和应用科学;而智能工程着重研究的是知识处理及其应用的技术,包括知识的表示、知识的获取以及知识的管理、协调、集成和利用等问题,因此也可以说,智能工程是以“知识”为基础的工程学科,但是,它比知识工程(Knowledge Engineering)研究的内容要复杂、全面得多。

2. 智能工程与人工智能的联系

智能工程与人工智能一样都是计算机科学及一些其他科学发展的产物,而智能工程又把人工智能作为主要的依靠基础。人工智能的许多理论与研究成果,如符号模型、符号推理和信息处理等都是智能工程进一步研究的内容。智能工程力图把人工智能的理论和方法应用到实际中去。而智能工程在工程应用的时候,往往把许多人工智能中还不成熟的东西在应用中得到深化、提高,反过来又能促进人工智能的发展。

3. 智能工程与人工智能的类比

智能工程与人工智能的类比关系,如工程学科(如机械工程、力学工程)与自然科学(如物理、数学)的关系一样。自然科学是工程科学的基础,但自然科学的研究目的、方法和内容与工程学科有很大的不同,它的发展有它自身的系统性、逻辑性和规律性。自然科学的目的是揭示自然界的本质与规律,是人类从根本上认识世界的科学;而工程学科的目的是应用自然科学提供的理论作为工具,结合自身对工程问题的研究与理论,针对性地去解决问题。它往往从个别的实际问题着手,从特殊到一般,从个别到普遍,由浅入深。因此,工程学科比自然学科发展得更快、更容易为人们所接受,工程学科在其发展过程中,随着经验与成果的扩大与深入,也会发展成普遍适用的理论和工具,对自然科学的发展也是一种促进和补充。例如,数学规划是数学的一个分支,从事工程优化的工程师们在实践中提出了许多优秀的算法,促使数学规划的发展,促进了数值最优化理论的诞生。

1.2.3 智能制造系统

20 世纪 80 年代,美国、日本提出的智能制造系统(IMS)可以说是智能工程的最高代表,他们把它作为机械制造技术近四十多年来发展四个阶段的顶峰。

(1) 直接数字控制(DNC)技术: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):从 70 年代开始,机床装置了工件和刀具自动更换系统,实现了计算机在线的机床加工过程的调度和规划,形成了越来越完善的加工中心(MC)。

(3) 计算机集成制造系统(CIMS):从 80 年代发展起来的 CIMS 的特点,主要是 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。

(4) 智能制造系统(IMS):实际上这是紧跟 CIMS 概念提出的一种思想,目的是该系统能在非确定和不可预测的环境下,可以在没有先验经验和不完全、不精确的信息情况下完成拟人的制造任务。

目前,制造业存在的最本质问题是,一方面,专家人才、熟练技工的短缺及设备的低智能造成了智力资源的不足;另一方面,人才的走、老、病、死带走了许多宝贵的知识和经验,加上在知识理解、流通方面的问题,使智能资源造成了很大的浪费。智能制造系统就是要把人的智能活动变成制造机器的智能活动,要通过集成知识工程、制造软件系统、机器人视觉、智能控制等技术形成大规模高度自动化生产。

许多国家对智能制造系统很感兴趣,日本工业和国际贸易部(MITI)发起的国际合作研究,投资 10 亿美元建立了日、美、西欧等国家共同参加的 IMS 国际研究中心,我国一些单位也介入了这一活动。他们认为,智能制造系统在整个制造过程中都贯穿着智能活动,并将这种知识活动与智能机器相结合,使整个制造过程,如订货、产品设计、生产和市场销售以柔性方式集成起来,从而提高生产效率。与 CIMS 相比较,IMS 更强调制造系统的自组织、自学习和自适应能力。

要实现智能制造系统,首先要有智能设备,它包括智能加工机床、工具和材料传送、检测和试验装置,以及各种安装、装配等智能装置。

同时,随着人们对制造过程行为认识的加深,新工艺、新方法的不断涌现,这些层出不穷的新知识怎么变成机器的知识与智能,就成为智能制造系统要解决的重要问题。

但是,不管前面有多少困难,脑力劳动自动化将成为必要趋势,智能工程在它发展的道路上将越走越广阔。

1.3 智能控制

智能控制是为了适应自动控制的发展,将人工智能的理论与技术运用到自动控制中,以解决面临的复杂问题而形成的一门新兴学科。同时,它也是人工智能发展的研究内容和新的应用领域。

1.3.1 智能控制与自动控制

自动控制理论的发展一般把它分为以下三个阶段。

(1) 20 世纪 40 至 60 年代,称为经典控制理论阶段。经典控制理论主要研究单变量控制系统,它应用传递函数、频率特性、根轨迹等方法在频率域内进行系统分析,其控制原理是负反馈闭环系统,以自动调节器作为反馈控制系统的中心环节。经典控制理论对自动化技术的发展起了很大的推动作用,至今仍在许多工程与领域中得到广泛的应用。

(2) 60 至 70 年代,称为现代控制理论阶段。现代控制理论主要以多变量控制为研究对象,在时间域内应用状态方程进行系统分析,其建模方法不再局限于对象的物理特性,而是向建立一般化的参数估计与系统辨识理论扩展。现代控制理论是近 30 多年来自动控制系统与理论获得进展的一个重要标志,它已经在空间技术等领域得到了成功的应用。

经典控制理论与现代控制理论被统称为传统控制理论。它们的共同特点都是基于被控对象的精确数学模型,即控制对象和干扰都要用严格的数学方程和函数表示,控制任务和目标一般都要比较直接明确,控制对象的不确定性和外界变化只允许在一个很小的范围内。但是,实际上,许多工业对象和控制目标常常具有非线性、时变性和各种不确定性,难以建立精确的数学模型。虽然自适应、自校正等控制理论可以对缺乏数学模型的被控对象进行在线识别,但这些递推算法实时性差,使用范围受到了很大的限制。

(3) 60 年代末发展起来的智能控制是传统控制的高级阶段,是现代科学技术高度综合的产物。它应用人工智能的理论和技术及运筹学的优化方法等与控制理论相结合,能克服被控对象和环境所具有的高度复杂性和不确定性,仿效人类的智能,实现对系统有效的控制。智能控制系统是以知识为基础的系统,因此以知识的表示、获取和利用为中心的知识工程是智能控制的重要基础。而专家系统、模糊控制、神经网络等等理论与技术的发展又为它注入了新鲜血液,使得智能控制理论和技术得到迅速的发展。当然,在智能控制系统中,并不排斥传统控制理论,信息与反馈概念在智能控制理论中仍占据着重要地位。在分层递阶结构的智能控制系统中,执行级常常采用传统理论进行设计。这些都说明智能控制理论与传统控制理论两者之间的紧密联系。

一般来说,智能控制系统有以下几个功能特点。

(1) 学习功能:系统能对一个过程或未知环境所提供的信息进行识别、记忆、学习,并能将得到的经验用于估计、分类、决策或控制,从而使系统的性能得到进一步改善,这种功能类似于人的学习过程。

(2) 适应功能:从系统角度来看,系统的智能行为是一种从输入到输出的映射关系,是一种不依赖于模型的自适应估计,因此比传统的自适应控制有更好更高层次的适应性能。有一定水平的智能控制系统,除了对系统输入输出的自适应估计外,还可包括系统的故障诊断及故障自修复功能。

(3) 组织功能:系统对于复杂的任务和各种传感器信息具有自行组织、自行协调的功能。它可以在任务要求范围内自行决策,出现多目标时可以适当地自行解决。因此系统具有较好的主动性和灵活性。

1.3.2 智能控制系统结构

智能控制系统的结构是随着控制对象与环境复杂性和不确定性的程度不同而有不同的变化。图 1-1 是其一种基本结构。图中的“广义对象”包括一般的控制对象和外部环境。例如,在智能机器人系统中,传感器机器人的手臂、移动载体、被操作的对象和其所处的工作环境统

称为广义对象;而在传感器中广义对象则指将其中所需物理量等变换成计算机能处理的电信号装置的总称。在机器人系统中,有位置传感器、力传感器、接近传感器、里程计及视觉传感器等等。感知信息处理是将传感器获得的各种信息进行处理,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。随着智能水平的提高,后一种信息融合处理就显得更加重要。认识学习部分主要是接受和存储知识、经验和数据,并对它们进行分析、学习和推理,然后送到规则与控制决策部分。规则与控制决策部分根据给定的任务要求、反馈的信息及经验知识,进行自动搜索、推理决策、动作规划,最后经执行器作用于控制对象。通信接口部分不但要建立人-机之间的联系,还要负责各模块之间的通信,以保证必要信息的传递。

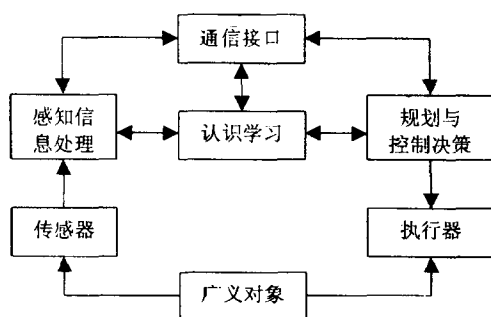


图 1-1 智能控制系统的基本结构

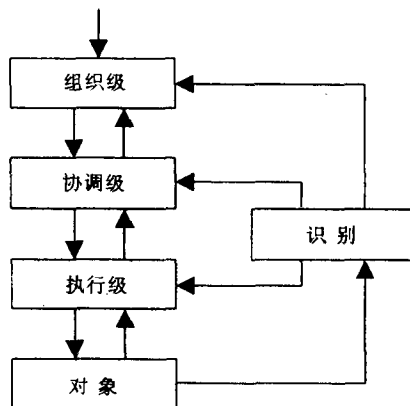


图 1-2 分层递阶智能控制系统

美国的控制理论家萨里迪斯(G. Saridis)在提出智能控制系统的人工智能、自动控制和运筹学的三元结构的同时,提出了分层递阶的智能控制系统结构(如图 1-2 所示)。他把智能控制系统分为三级:执行级、协调级和组织级,并规定各级之间实现“智能递增精度递减”的原则。

(1) 第一级组织级。它接收人或其他级的反馈信息,进行组织决策和任务分配。它表现为系统的高级智能,技术上以人工智能为主体。

(2) 第二级协调级。它接收来自组织级的指令和有关的反馈信号,协调执行级的动作。协调级实际上是一个离散事件动态系统,技术上主要以人工智能和运筹学为主体。

(3) 第三级执行级。它面向控制对象,直接实施控制并接受来自被控过程中的反馈信号。这一级一般需要比较准确的数学模型,以保证较高的控制精度,这一级技术上主要以传统自动控制为主体。

智能控制系统这种分层递阶结构的优点是控制路线明确,易于解析描述。它已成功地应用于机器人智能控制、交通系统的控制与管理等一些领域。

1.3.3 智能控制研究的数学工具

传统的控制理论主要采用微分方程、状态方程及各种数学变换作为研究工具,它们本质上是一种数值计算的方法。而人工智能主要采用符号处理、一阶谓词逻辑等作为研究的数学工具。显然两者有着根本的区别。智能控制研究的数学工具则是上述两方面的交叉和结合,它主要有以下几种形式。

(1) 符号推理与数值计算的结合。例如专家控制,它的上层是专家系统,采用人工智能中