

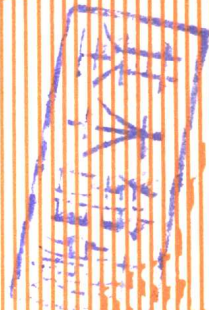
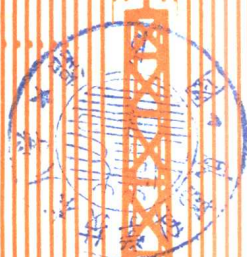
920764

高等学校教材

智能控制

INTELLIGENT CONTROL

蔡自兴 编著



电子工业出版社

智能控制

INTELLIGENT CONTROL

蔡自兴 编著

By CAI Zixing

电子工业出版社

内 容 简 介

本书介绍了智能控制的基本概念、工作原理、方法及其应用，是一本智能控制的导论性教材。书中全面地讨论了智能控制这门新学科的发展过程、结构理论和研究领域；阐述了作为智能控制基础的知识表示方法、搜索原理和推理技术；分析了各种智能控制系统的作用机理、组成及应用实例；简单介绍了智能控制用的程序设计语言LISP和PROLOG等。全书内容丰富，技术新颖，理论联系实际，反映出国内外智能控制的最新进展。

本书作为高等学校自动控制、工业自动化以及系统工程等专业研究生和高年级学生的《智能控制》课程统编教材，也可供从事自动控制系统研究、设计和应用的科技工作者使用。

智能控制

INTELLIGENT CONTROL

蔡自兴 编著

责任编辑 王昌铭

电子工业出版社出版（北京市万寿路）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京市密云华都印刷厂印刷

开本：787×1092毫米 1/16 印张：13.375 字数：350千字

1990年7月第一版 1990年7月第一次印刷

印数：2000册 定价：2.95元

ISBN 7-5053-0869-6/TN·310

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1986~1990年的“七五”（第三轮）教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这批教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

E A 031 / 10

前 言

本教材是根据全国高等学校工科电子类专业自动控制教材编审委员会提出的《智能控制》编写大纲要求并组织征稿、评选和推荐出版的全国统编教材，供自动控制、工业自动化和系统工程等专业的研究生和高年级本科生使用。参考学时为60学时。

智能控制是最年轻的新学科之一，又是一门交叉学科。智能控制与人工智能（尤其是知识工程）、控制论（特别是工程控制论和生物控制论）、系统论（尤其是运筹学）、信息论、认知心理学、神经网络理论、模式识别、机器人学（尤以智能机器人）、仿生学、语言学和计算机科学等学科有十分密切的关系，是在这些相关学科发展的基础上并与之结合而形成的。我们可以打个比喻：智能控制是以这些相关学科为原料而熔炼出来的一种新型合金。

本书第一章概述人类的认知过程和人脑智能的计算机模拟等概念，讨论智能控制的发展过程和定义，论述智能控制的结构理论与特点。并介绍智能控制的研究领域。第二章研究智能控制所需要的各种知识表示方法。第三章和第四章涉及智能控制常用的搜索技术和推理机制。第五章分析各种智能控制系统的作用原理和构成。第六章列举智能控制的应用实例。第七章简要介绍两种智能控制用程序设计语言PROLOG和LISP。第八章简要讨论了智能控制的发展方向。

本教材由西安交通大学信息与控制工程系胡保生教授担任责任编辑和主审。在编写过程中，得到许多专家的热情鼓励与具体帮助。他们是张钟俊、宋健、胡启恒、蒋新松、饶立昌、戴汝为、张铨、张钺、郑文波、钟义信和戴冠中等教授，杨剑波、刘建进和朱宗林等博士，以及美国普渡大学C.S.G.Lee教授等。中国有色金属工业总公司、中南工业大学及其自动控制工程系也对本教材编写工作给予有力支持。在此，作者谨向他们表示衷心的感谢。

本书的编写和出版，是对我的良师益友、智能控制学科的先驱和奠基者、美国科学院院士、已故的美国普渡大学教授傅京孙（K.S.Fu）博士的最好纪念。傅先生为国际智能控制学科所作出的杰出贡献，已为举世公认和高度赞赏。

智能控制刚刚形成为一门学科，国内外都尚未见到此类书籍的蓝本可供借鉴；因此，本书的编写就成为系统地介绍智能控制的首次尝试。由于资料缺乏，加上作者学识不深，编写时间又十分仓促，因而必定使本教材存在不少不足之处。祈望诸位读者和专家不吝赐教。

蔡自兴

1988年9月初稿于长沙岳麓山

1989年9月订正于北京中关村

目 录

第一章 智能控制基础	(1)
1.1 人的认知过程与人工智能.....	(1)
1.1.1 研究认知过程的任务.....	(1)
1.1.2 智能信息处理系统的假设.....	(2)
1.1.3 人类智能的计算机模拟.....	(3)
1.1.4 人脑的基本机能.....	(4)
1.2 智能控制的发展与定义.....	(4)
1.2.1 智能控制的产生与发展.....	(5)
1.2.2 智能控制的定义.....	(6)
1.3 智能控制的结构理论和特点.....	(7)
1.3.1 智能控制的结构理论.....	(7)
1.3.2 智能控制器的结构.....	(11)
1.3.3 智能控制的特点.....	(12)
1.4 智能控制的研究领域.....	(13)
1.4.1 智能机器人.....	(13)
1.4.2 智能过程控制与规划.....	(13)
1.4.3 专家控制系统.....	(14)
1.4.4 智能调度.....	(15)
1.4.5 语音控制.....	(15)
1.4.6 康复机器人控制.....	(16)
1.4.7 智能化仪器.....	(16)
第二章 知识表示方法	(18)
2.1 状态空间法.....	(18)
2.1.1 问题状态描述.....	(18)
2.1.2 状态图示法.....	(20)
2.1.3 状态空间表示举例.....	(21)
2.2 问题归约法.....	(24)
2.2.1 问题归约描述.....	(24)
2.2.2 与或图表示.....	(26)
2.2.3 问题归约机理.....	(28)
2.3 谓词逻辑法.....	(31)
2.3.1 谓词演算.....	(31)
2.3.2 谓词公式.....	(34)
2.3.3 置换与合一.....	(36)
2.4 语义网络表示.....	(39)
2.4.1 二元语义网络的表示.....	(39)

2.4.2	多元语义网络的表示	(41)
2.4.3	连接词和量化的表示	(42)
第三章	一般搜索原理	(48)
3.1	盲目搜索	(48)
3.1.1	图搜索策略	(48)
3.1.2	宽度优先搜索	(49)
3.1.3	深度优先搜索	(50)
3.1.4	等代价搜索	(51)
3.2	启发式搜索	(53)
3.2.1	启发式搜索策略	(53)
3.2.2	估价函数	(54)
3.2.3	有序搜索	(54)
3.3	消解原理	(56)
3.3.1	化为子句形的步骤	(57)
3.3.2	消解推理规则	(59)
3.3.3	含有变量的消解式	(60)
3.3.4	消解反演求解过程	(61)
3.4	通用问题求解系统	(65)
3.4.1	基本原理	(65)
3.4.2	变换方法要点	(66)
3.4.3	差别操作符表	(66)
第四章	高级推理系统	(69)
4.1	专家系统	(99)
4.1.1	专家系统的特点	(69)
4.1.2	专家系统的结构	(70)
4.1.3	建立专家系统的步骤	(71)
4.1.4	专家系统设计技巧	(71)
4.1.5	基于模型的专家系统的设计	(72)
4.2	规划系统	(76)
4.2.1	问题分解途径	(77)
4.2.2	规划系统的任务	(79)
4.2.3	典型规划系统	(80)
4.3	系统组织技术	(84)
4.3.1	议程表	(84)
4.3.2	黑板法	(85)
4.3.3	Δ -极小搜索法	(85)
4.4	不确定性推理	(86)
4.4.1	关于证据的不确定性	(86)
4.4.2	关于结论的不确定性	(87)

4.4.3	多个规则支持同一事实时的不确定性	(88)
第五章	智能控制系统	(90)
5.1	分级递阶智能控制系统	(90)
5.1.1	基于知识/解析混合多层智能控制理论	(90)
5.1.2	Saridis分级智能控制理论	(97)
5.1.3	分级递阶智能控制示例	(102)
5.2	专家控制系统	(106)
5.2.1	专家式控制器的控制要求与设计原则	(106)
5.2.2	专家控制器的结构	(108)
5.2.3	专家调节器的知识编码和知识调用	(110)
5.2.4	专家调节器示例	(112)
5.2.5	专家模糊控制器	(114)
5.3	学习控制系统	(116)
5.3.1	学习控制系统及其研究课题	(116)
5.3.2	学习控制系统的设计原则	(119)
5.3.3	自学习控制器设计示例	(121)
第六章	智能控制应用举例	(124)
6.1	空间机器人智能控制	(124)
6.1.1	系统的组成	(124)
6.1.2	控制系统的层次	(127)
6.1.3	H模式的具体结构	(128)
6.2	自动加工系统智能控制	(129)
6.2.1	控制系统组成及要改善的性能	(129)
6.2.2	节能的电动机PWM智能控制	(130)
6.2.3	减少操作时间的加减速控制	(131)
6.2.4	加工操作的最优化	(132)
6.2.5	智能机器的在线调度控制	(134)
6.3	同步剪切过程控制	(136)
6.3.1	控制要求和智能控制器特点	(136)
6.3.2	MIC-1智能控制器的设计	(138)
6.3.3	MIC-1的开发与工业应用	(141)
6.4	智能故障诊断系统	(142)
6.4.1	火电厂锅炉给水控制系统的故障检测和诊断	(142)
6.4.2	空间站热控制系统故障诊断	(146)
6.5	智能仪器	(148)
6.5.1	智能仪器的特点与结构	(149)
6.5.2	智能仪器的程序设计	(150)
6.5.3	智能仪器举例	(152)
第七章	智能控制编程语言	(156)

7.1 逻辑型编程语言.....	(156)
7.1.1 对逻辑型编程语言的要求.....	(156)
7.1.2 现有的逻辑型编程语言.....	(156)
7.2 LISP语言.....	(157)
7.2.1 LISP的特点和数据结构.....	(157)
7.2.2 LISP的基本函数.....	(159)
7.2.3 递归和迭代.....	(162)
7.2.4 LISP编程举例.....	(164)
7.3 PROLOG语言.....	(169)
7.3.1 语法与数据结构.....	(169)
7.3.2 PROLOG程序设计原理.....	(170)
7.3.3 PROLOG编程应用实例—ROPES.....	(172)
第八章 智能控制的展望.....	(179)
参考文献.....	(181)
英汉名词术语对照表.....	(191)
CONTENTS.....	(202)
ABOUT THE BOOK.....	(206)

第一章 智能控制基础

我们正处在世界科学发展的一个重要时期——第二次科学革命时期。这个革命的首要目标在于突破人类智力的局限性，用机器代替人类从事各种体力和脑力劳动，把社会生产力发展到更高水平。也就是说，不仅要实现体力劳动自动化，而且要实现脑力劳动自动化。这样一个历史时代，可称为信息时代，或智能化时期。智能机器的发展将从根本上改变人类的劳动生产和生活方式^[1]。

人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 的产生和发展正在为这个时期的发展作出重要贡献。人工智能影响了许多具有不同背景的学科。人工智能的发展促进自动控制向着更高的水平——智能控制 (Intelligent Control) 方向发展^[2]。

1.1 人的认知过程与人工智能

人类的认知过程是个非常复杂的行为，至今仍未能被完全解释。人们从不同的角度对它进行研究，从而形成诸如认知生理学、认知心理学和认知工程学等相关学科。对这些学科的深入研究已超出本书范围。这里仅讨论几个与智能控制有密切关系的问题。

1.1.1 研究认知过程的任务

人的心理活动具有不同的层次，它可与计算机的层次相比较，见图1.1。心理活动的最高层级是思维策略，中间一层是初级信息处理，最低层级为生理过程，即中枢神经系统、神经元和大脑的活动^[3]。与此相应的是计算机的程序、语言和硬件。

研究认知过程的主要任务是探求高层次思维决策与初级信息处理的关系，并用计算机程序来模拟人的思维策略水平，而用计算机语言模拟人的初级信息处理过程。

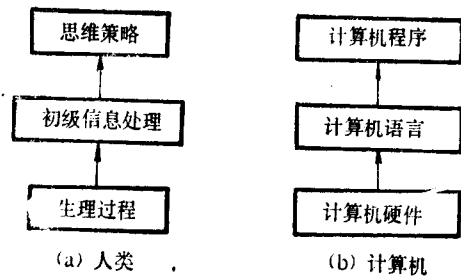


图1.1 人类认知活动与计算机的比较

令 T 表示时间变量， x 表示认知操作 (cognitive operation)， x 的变化

Δx 为当时机体状态 S (机体的生理和心理状态以及脑子里的记忆等) 和外界刺激 R 的函数。当外界刺激作用到处于某一特定状态的机体时，便发生变化，即

$$\left. \begin{aligned} T &\rightarrow T + 1 \\ \Delta x &= f(S, R) \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

计算机也以类似的原理进行工作。在规定时间内，计算机存储的记忆相当于机体的状态；计算机的输入相当于机体施加的某种刺激。在得到输入后，计算机便进行操作，使得

其内部状态随时间发生变化。我们可以从不同的层次来研究这种计算机系统。这种系统以人的思维方式为模型进行智能信息处理(intelligent information processing)^[4]。显然,这是一种智能计算机系统。设计适用于特定领域的这种高水平智能信息处理系统(也称为专家系统)是研究认知过程的一个具体而又重要的目标。一个具有智能信息处理能力的自动控制系统就是一个智能控制系统,它可以是专家控制系统,或者是智能决策系统等。

1.1.2 智能信息处理系统的假设

可以把人看成一个智能信息处理系统。

信息处理系统又叫符号操作系统(Symbol Operation System)或物理符号系统(Physical Symbol System)。所谓符号就是模式(pattern)。任一模式,只要它能与其它模式相区别,它就是一个符号。不同的汉语拼音字母或英文字母就是不同的符号。对符号进行操作就是对符号进行比较,从中找出相同的和不同的符号。物体符号系统的基本任务和功能就是辨认相同的符号和区别不同的符号。为此,这种系统就必须能够辨别出不同符号之间的实质差别。符号既可以是物理符号,也可以是头脑中的抽象符号,或者是电子计算机中的电子运动模式,还可以是头脑中神经元的某些运动方式。一个完善的符号系统应具有下列六种基本功能:

- (1) 输入符号(input);
- (2) 输出符号(output);
- (3) 存储符号(store);
- (4) 复制符号(copy);
- (5) 建立符号结构:通过找出各符号间的关系,在符号系统中形成符号结构;
- (6) 条件性迁移(conditional transfer):根据已有符号,继续完成活动过程。

如果一个物理符号系统具有上述全部六种功能,能够完成这个全过程,那么它就是一個完整的物理符号系统。人能够输入信号,如用眼睛看,用耳朵听,用手触摸等。计算机也能通过卡片或纸带打孔、磁带或键盘打字等方式输入符号。人具有上述六种功能;现代计算机也具备物理符号系统的这六种功能。

任何一个系统,如果它能表现出智能,那么它就必定能够执行上述六种功能。反之,任何系统如果具有这六种功能,那么它就能够表现出智能;这种智能指的是人类所具有的那种智能。我们把这个假设称为物理符号系统的假设。

物理符号系统的假设伴随有三个推论,或称为附带条件。

推论一 既然人具有智能,那么他(她)就一定是一个物理符号系统。

人之所以能够表现出智能,就是基于他的信息处理过程。

推论二 既然计算机是一个物理符号系统,它就一定能够表现出智能。这是人工智能的基本条件。

推论三 既然人是一个物理符号系统,计算机也是一个物理符号系统,那么我们就能够用计算机来模拟人的活动。

值得指出,推论三并不一定是从推论一和推论二推导出来的必然结果。因为人是物理符号系统,具有智能;计算机也是一个物理符号系统,也具有智能,但它们可以用不同的原理和方式进行活动。所以,计算机并不一定都是模拟人活动的,它可以编制出一些复杂

的程序来求解方程式，进行复杂的计算。不过，计算机的这种运算过程未必就是人类的思维过程。

我们可以按照人类的思维过程来编制计算机程序，这项工作就是人工智能的研究内容，也是智能控制的主要研究内容。如果做到了这一点，我们就可以用计算机在形式上来描述人的思维活动过程，或者建立一个理论来说明人的智力活动过程。

1.1.3 人类智能的计算机模拟

帕梅拉·麦考达克 (Pamela McCorduck) 在她的著名的人工智能历史研究《机器思维》(Machine Who Think, 1979) 中曾经指出：在复杂的机械装置与智能之间存在着长期的联系。从几世纪前出现的神话般的复杂巨钟和机械自动机开始，人们已对机器操作的复杂性与自身的智能活动进行直接联系。今天，新技术已使我们所建造的机器的复杂性大为提高。现代电子计算机要比以往的任何机器复杂几十倍、几百倍，以至几千倍以上。

计算机的早期工作主要集中在数值计算方面。然而，人类最主要的智力活动并不是数值计算，而在逻辑推理方面^[5]。物理符号系统假设的推论一也告诉我们，人有智能，所以他是一个物理符号系统；推论三指出，可以编写出计算机程序去模拟人类的思维活动。这就是说，人和计算机这两个物理符号系统所使用的物理符号是相同的，因而计算机可以模拟人类的智能活动过程^[211]。计算机的确能够很好地执行许多智能功能，如下棋、证明定理、翻译语言文字和解决难题等^[205]。这些任务是通过编写与执行模拟人类智能的计算机程序来完成的。当然，这些程序只能接近于人的行为，而不可能与人的行为完全相同。此外，这些程序所能模拟的智能问题，其水平还是很有限的。

作为例子，让我们考虑下棋的计算机程序。现有的国际象棋程序是十分熟练的、具有人类专家棋手水平的最好实验系统，但是下得没有象人类国际象棋大师那样好。该计算机程序对每个可能的走步空间进行搜索，它能够同时搜索几千种走步，进行有效搜索的技术是人工智能的核心思想之一。不过，计算机不能战胜最好的人类棋手，其原因在于：向前看并不是下棋所必须具有的一切，需要彻底搜索的走步又太多；在寻找和估计替换走步时并不能确信能够导致博弈的胜利。国际象棋大师们具有尚不能解释的能力。一些心理学家指出，当象棋大师们盯着一个棋位时，在他们的脑子里出现了几千盘重要的棋局；这大概能够帮助他们决定最好的走步。至今还未能设计出辨别这种棋局的计算机程序。

近年来，智能计算机的研究取得许多重大进展。对神经型智能计算机的研究就是一个新的范例，它必将为模拟人类智能作出新的贡献。

神经计算机 (neural computer) 能够以类似人类的方式进行“思考”，它力图重建人脑的形象。据日本通产省 (MITI) 报导，对神经计算机系统的可行性研究已于1989年4月底完成，并即将提出该系统的长期研究计划的细节。在美国、英国、中国和其它一些国家，都有众多的研究小组投入对“神经网络”的研究，一个“神经网络热”正在形成。

据预测，神经计算机将在本世纪末进入实用阶段，并将有产品投放市场^[216]。

人脑这个神奇的器官能够复制大量的交互作用，快速处理极其大量的信息，同时执行几项任务。迄今为止的所有计算机，基本上都未能摆脱冯·诺依曼机的结构，只能依次对单个问题进行“求解”。即使是80年代初期的并行处理计算机，其运行性能仍然十分有限。人们期望，对神经计算 (neural computing) 的研究将造出神经计算机，大大提高信息

处理能力，甚至达到人工智能水平。到那时，传统的计算机将逐步为神经计算机所代替。

1.1.4 人脑的基本机能

可以通过心理学实验来研究人的信息处理过程，从而了解人是怎样思维的。也可以从进化的角度来研究人是怎样获得信息处理能力的。在几百万年的进化过程中，人类通过对外界环境的适应，已逐渐具有从环境获得新信息并进行非常有效活动的的能力。现在的问题是，怎样才能设计一个有效地模拟人的认知活动的系统。

模拟人类认知的系统必须满足下列四个条件，或者说必须具备四种功能：

(1) 这个系统必须是单线的和串行活动的，因为人只能同时想或做一件事。

(2) 这个系统只能进行有限的计算，因为人的计算能力是有限的。

(3) 这个系统必须能够发展多方面的需要。人有物质生活上的各种需要，还有不断增长的精神和文化需要。

(4) 这个系统必须能够处理突发的意外事件。

在人类进化过程中，人脑发展了认知活动的三种机能（这些技能使人能够完成上述四种功能）：

(1) 通过搜索解决问题。所谓搜索就是提出策略并用来解决面临的问题。由于搜索过程是串行的，而人的计算能力又是有限的，因此只能一个个地尝试解决办法。人类在搜索时并不能同时考虑到解决问题的各种可能性，并对所有可能性进行权衡比较。例如，在围棋棋盘上，棋子的分布模式数量是很大的，人们下棋时进行搜索的可能性也是有限的。一个围棋棋盘是 19×19 个方格，它有 19×19 个点，每个点又有三种可能状态（黑子、白子或空点）。这样，总共就有约 10^{190} 种可能性！因此，在下棋过程中，即使是最好的人类棋手也不可能同时考虑到各种可能性。在解决各种问题，人脑中并没有考虑所有可能性，而只是运用了生活中行之有效的搜索方法。

(2) 一般不寻求最优解，而只寻找满意解。人在解决问题时一般不去寻求最优的解法，而只要求找到一个满意的解法。寻求最优解往往是非常困难的，它需要花费很多时间和计算机空间。而寻找满意解则要容易得多，它不依赖于问题的空间，不需要进行全部搜索，只要能够解决问题就行。

(3) 具有可变的志向水平 (aspiration level)。人的特点之一是可以调节满足需要的程度。心理学家把它叫做志向水平。人的志向水平可随外界条件的变化而自我调节。这个特点适用于每个人的生活和人的社会活动。

人类认知活动除了上述三种机能外，还要求认知系统具有注意分配、记忆和运动等信息处理机构。

1.2 智能控制的发展和定义

人工智能的发展促进自动控制向着更高层次——智能控制发展。智能控制也是用计算机模拟人类智能的一个重要领域，它象征着自动控制的未来，是自动控制学科发展中的又一次飞跃^[6]。

1.2.1 智能控制的产生和发展

自动化发展过程与人工智能有着直接的关系。

随着第一次工业革命中大功率动力机、传动机和动力系统的产生和应用,人类开始实现部分体力劳动的机械化和自动化。在初期的自动化机器中,只采用开环控制和单一操作。当采用外部反馈控制和专用程序控制时,分别出现了自动化机器和数控机器。随着计算机系统可编程能力的提高,控制系统已具有可变编程能力、目标自设定能力和自编程与自学习能力;与此相应的是各种形式的含有智能机器人的自动化——适应性机器人和柔性加工系统(FMS)、半自主机器人和自主机器人(autonomous robot)。自主控制机器人处于现今控制层级的最高层^[7]。在这些智能控制系统中,应用了人工智能的概念与技术。人工智能已为智能机器人技术和高级自动控制输入了新鲜血液^[8]。

图1.2表示自动控制的发展过程。

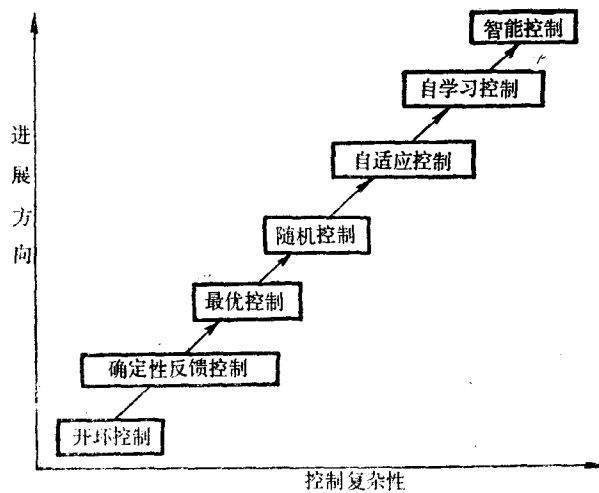


图1.2 自动控制的发展过程

人工智能的发展促进自动控制向智能控制发展。有趣的是,在相当长时间内,很少有人提到控制理论与人工智能的联系。不过,这也不足为奇,因为传统的控制理论(包括古典的和近代的)主要涉及对与伺服机构有关的系统或装置进行操作与数学运算,而人工智能所关心的则主要与符号运算及逻辑推理有关。1965年,著名的美籍华裔科学家傅京孙(King-Sun Fu)首先提出把人工智能的启发式推理规则用于学习控制系统^[9],并于1971年论述了人工智能与自动控制的交接关系^[10]。

1967年,Leondes等人首次正式使用“智能控制”一词^[6]。这一术语的出现要比“人工智能”晚11年,比“机器人”晚47年。初期的智能控制系统采用一些比较初级的智能方法,如模式识别和学习方法等,而且发展速度十分缓慢。

近十年来,随着人工智能和机器人技术的快速发展,对智能控制的研究出现一股热潮。各种智能决策系统、专家系统、学习系统和故障诊断系统等已被应用于各类工业过程控制系统、智能机器人系统和智能化生产系统。

DeJong研究了人工智能对自动控制的作用^[11]，而Sauers和Walsh则提出了与环境的实时控制有关的未来专家系统的要求与组成^[12]。同时，Harmon提出了用于移动式机器人自主制导的坐标控制和基于知识的系统构成技术^[13]。

Saridis对智能控制系统的分类作出贡献^[14]。他把智能控制发展道路上的最远点标记为人工智能。他认为，人工智能能够提供最高层的控制结构，进行最高层的决策。

Albus等开发出一个分层控制的理论^[15,16]，它能够表示学习，并提供复杂情况下学习的反射响应 (reflex response)。此外，还提出了问题求解和规划功能；这些功能通常与人工智能领域内的最高层智能作用有关，并含有用于中间各控制层次错误纠正的专家系统规则。

智能控制新学科形成的条件逐渐成熟。1985年8月，IEEE在美国纽约召开了第一届智能控制学术讨论会。来自美国各地的60位从事自动控制、人工智能和运筹学研究的专家学者参加了这次讨论会。会上集中讨论了智能控制原理和智能控制系统的结构。这次会议之后不久，在IEEE控制系统学会内成立了IEEE智能控制专业委员会；已有200多名会员参加活动。该专业委员会组织了对智能控制定义和研究生课程教学大纲的讨论。1987年1月，在美国费城由IEEE控制系统学会与计算机学会联合召开了智能控制国际会议^[17]。这是有关智能控制的第一次国际会议，来自美国、欧洲、日本、中国以及其他发展中国家的150位代表出席了这次学术盛会。提交大会报告和分组宣读的60多篇论文以及专题讨论，显示出智能控制的长足进展；同时也说明了：由于许多新技术问题的出现以及相关理论与技术的发展，需要重新考虑控制领域及其邻近学科。这次会议是个里程碑，它表明智能控制作为一门独立学科，正式在国际上形成起来。

近年来，国内对智能控制的研究也开始活跃起来。一些学会组织了多次包括智能控制内容的人工智能或智能科学学术讨论会。不过，这些学术活动是分散进行的，尚未形成一个有权威的统一的智能控制学术团体。当然，智能控制作为一门独立的新学科，在国内也正在形成之中，决定编写与出版这本研究生和高年级学生用教材本身就是一个例证。

1.2.2 智能控制的定义

与人工智能、机器人以及其它一些新兴高技术学科一样，智能控制也还没有统一的定义。下面提出的定义，有待于进一步讨论，并在讨论中求得完善。

1. 智能机器 (Intelligent Machine)

能够在定形或不定形、熟悉或不熟悉的环境中自主地或与操作人员交互作用以执行各种拟人任务 (anthropomorphic tasks) 的机器。或者比较通俗地说，智能机器是那些能够自主地代替人类从事危险、厌烦、远距离或高精度等作业的机器。例如，能够从事这类工作的机器人，就属于智能机器人。

2. 自动控制

自动控制是能按规定程序对机器或装置进行自动操作或控制的过程。简单地讲，不需要人工干预的控制就是自动控制。例如，一个装置能够自动接收所测得的过程物理变量，自动进行计算，然后对过程进行自动调节就是自动控制装置。反馈控制、最优控制、随机控制、自适应控制和自学习控制等均属自动控制。

3. 智能控制

智能控制是驱动智能机器自主地实现其目标的过程。或者说,智能控制是一类无需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。对自主机器人的控制就是一例。

4. 智能控制系统 (Intelligent Control Systems)

用于驱动自主智能机器以实现其目标而无需操作人员干预的系统叫智能控制系统。这类系统必须具有智能调度和执行等能力。智能控制系统的理论基础是人工智能、控制论、运筹学和系统学等学科的交叉。

1.3 智能控制的结构理论与特点

自从傅京孙1971年提出把智能控制作为人工智能和自动控制的交接领域以来,许多研究人员试图建立起智能控制这一新学科。他们提出一些有关智能控制系统结构的思想,有助于对智能控制的进一步认识。

1.3.1 智能控制的结构理论

智能控制具有十分明显的跨学科(多元)结构特点。在此,我们主要讨论智能控制的二元交集结构、三元交集结构和四元交集结构三种思想,它们分别由下列各交集(通集)表示:

$$IC = AI \cap AC \quad (1.2)$$

$$IC = AI \cap CT \cap OR \quad (1.3)$$

$$IC = AI \cap CT \cap IT \cap OR \quad (1.4)$$

也可以用离散数学和人工智能中常用的谓词公式之合取来表示上述各种结构^[18,19]:

$$IC = AI \wedge AC \quad (1.5)$$

$$IC = AI \wedge CT \wedge OR \quad (1.6)$$

$$IC = AI \wedge CT \wedge IT \wedge OR \quad (1.7)$$

式中,各子集(或合取项)的含义如下:

AI——人工智能 (Artificial Intelligence);

AC——自动控制 (Automatic Control);

CT——控制论 (Control Theory, Cybernetics);

OR——运筹学 (Operation Research);

IT——信息论 (Information Theory, Informatics);

IC——智能控制 (Intelligent Control);

\cap 和 \wedge 分别表示交集和连词“与”符号。

1. 二元结构

傅京孙曾对几个与自学习控制 (learning control) 有关的领域进行了研究^[10]。这些研究领域是:

- (1) 含有拟人控制器的控制系统;
- (2) 含有人-机控制器的控制系统;
- (3) 自主机器人系统。

为了强调系统的问题求解和决策能力,他用“智能控制系统”来包括这些领域。他指

出：智能控制系统描述自动控制系统与人工智能交点的作用。我们可以用式(1.2)和(1.5)以及图1.3来表示这种交接作用，并把它称为二元交集结构。

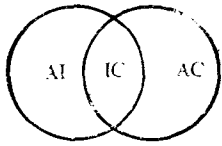


图1.3 智能控制的二元结构

对自学习系统的研究是走向智能控制系统的基本步骤之一。在自学习控制系统中，当采用人-机组合控制器时，需要比较高层的智能决策；它可由拟人控制器 (anthropomorphic controller) 来作出。例如，识别复杂的环境状况，为计算机控制器设定子目标以及纠正计算机控制器作出的不适当决定等。另一方面，对于较低层的智能作用，如数据收集、例行程序执行以及在线计算等，则可由机器控制器来执行。在设计这种智能控制系统时，要尽可能多地把设计者和操作人员所具有的与指定任务有关的智能转移到机器控制器上。

对于自主机器人系统，傅京孙以SRI (斯坦福研究所) 的机器人系统为例加以说明，见图1.4。这个系统力图在一个远距离环境下，对机器人进行无人干预的自动操纵与操作。这一控制系统至少应执行三个主要功能，即感知、模拟和问题求解 (包括规划)。

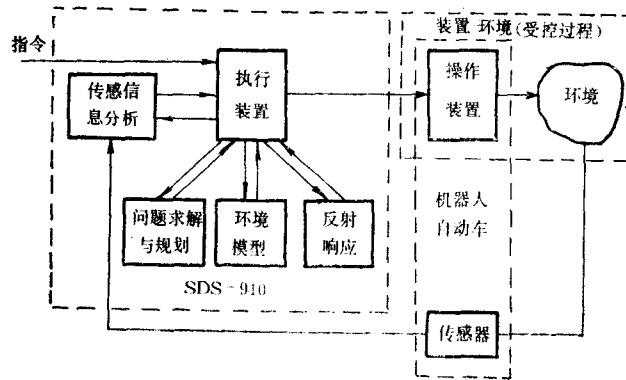


图1.4 SRI机器人系统

2. 三元结构

萨里迪斯 (Saridis) 于1977年提出另一种智能控制结构^[14]，它把傅京孙的智能控制扩展为三元结构，即把智能控制看作为人工智能、自动控制和运筹学的交点，如图1.5所示。我们可以用式(1.3)和(1.6)来描述这种结构。

萨里迪斯认为，构成二元交集结构的二元互相支配，无助于智能控制的有效和成功应用。必须把运筹学的概念引入智能控制，使它成为三元交集中的一个子集。这种三元结构后来成为IEEE第一次智能控制讨论会 (1985年8月，纽约) 的主题之一。对这一问题的讨论，有助于智能控制学科的形成。在智能控制专业委员会各会员之间，曾对智能控制进行了认真的争论。这一争论在IEEE第一次智能控制国际讨论会 (1987年1月，美国费城) 上达到了高潮。

在提出三元结构的同时，萨里迪斯还提出分级智能控制系统，见图1.6，它主要由三个智能 (感知) 级组成：

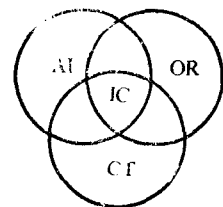


图1.5 智能控制的三元结构