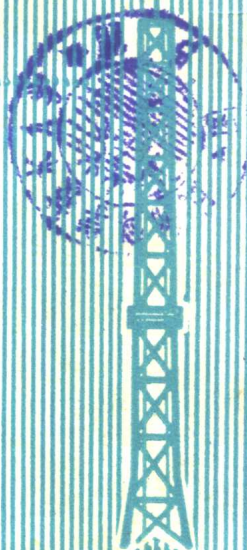


223236

高等学校教材

专家系统

黄可鸣



东南大学出版社

TP11
4416

236

高等学校教材

专家系统

黄可鸣

东南大学出版社

内 容 提 要

本书系按电子工业部的工科电子类专业教材1986~1990年出版规划,由计算机教材编审委员会审定的全国统编教材。

本书较全面和系统地介绍了专家系统各方面的基本内容。全书共七章,可分为四个部分。第一部分(第一章)主要阐述专家系统的基本思想和基本原理;第二部分(第二章~第四章)介绍了开发专家系统所常用的基本技术,包括知识表示、逻辑推理与似然推理、搜索方法等;第三部分(第五章~第六章)较详细地剖析了具有很大代表性的 MYCIN 系统及其工具系统 TERIESIAS 和骨架系统 EMYCIN;第四部分(第七章)简单讨论了开发专家系统工作的特点及开发和评价专家系统的步骤和方法等。

本书可作为大学高年级学生或研究生学习专家系统课程的教材或教学参考书,也可供从事专家系统开发和研究的科技人员阅读参考。

责任编辑 陈天授

责任校对 陈 跃

专 家 系 统

黄 可 聘

东南大学出版社出版

南京四牌楼 2 号

江苏省新华书店发行 镇江前进印刷厂印刷

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 8625 字数 232 千

1991 年 4 月第 1 版 1991 年 4 月第 1 次印刷

印数: 1—3000 册

ISBN 7—81023—358—0

TP·26

定价: 2.25 元

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

前 言

本教材系按电子工业部的工科电子类专业教材1986~1990年编审出版规划,由计算机教材编审委员会征稿,推荐出版,责任编辑委郭福顺教授。

本教材由东南大学担任主编,哈尔滨工业大学洪家荣教授担任主审。

本课程的参考学时数为40学时,其主要内容可分为四个部分。第一部分(第一章)主要介绍专家系统的基本思想和基本原理;第二部分(第二章~第四章)主要介绍开发专家系统所常用的基本技术,包括知识表示、推理与搜索、似然推理等;第三部分(第五章~第六章)介绍了基于规则的专家系统之代表——MYCIN系统及类工具系统;第四部分(第七章)主要介绍开发专家系统过程中的一些常见问题。

本书中标后,根据教材编审委员会的审稿要求,对原稿在结构上进行了调整,增加了专家系统基本技术的有关内容,使之更适合于教学要求;另外受学时的限制,对原稿在篇幅上进行了较大压缩。相比之下,作者1988年编写的《专家系统导论》一书,实例较丰富,对国际上有代表性的专家系统进行了较详细的剖析。本书所介绍的专家系统技术多数都可在《导论》一书中找到其应用实例。因此《导论》一书可作为本书的参考和补充读物。

本教材由黄可鸣编写。参加审阅工作的还有王开铸教授,他们提出了许多宝贵意见,这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1990年5月于东南大学

目 录

第一章 基本原理	(1)
§ 1.1 专家系统的基本思想	(1)
1.1.1 定义	(1)
1.1.2 基本思想	(2)
§ 1.2 专家系统的基本特征	(3)
1.2.1 专门知识的启发性	(4)
1.2.2 专门知识的专有性	(4)
1.2.3 专门知识的不稳定性	(5)
1.2.4 专门知识难于抽取	(5)
§ 1.3 传统的数据处理、人工智能与专家系统	(6)
1.3.1 TDP系统的特点	(6)
1.3.2 TDP与AI系统	(9)
1.3.3 ES系统与AI系统	(17)
§ 1.4 专家系统的结构	(20)
1.4.1 基本结构	(20)
1.4.2 流行结构	(21)
1.4.3 理想结构	(23)
§ 1.5 专家系统的分类	(26)
1.5.1 按任务类型分类	(26)
1.5.2 按任务要求分类	(30)
习题与思考题	(36)
参考文献	(37)
第二章 知识表示	(39)
§ 2.1 概述	(39)

2.1.1	知识与知识表示	(30)
2.1.2	过程性表示与叙述性表示	(41)
2.1.3	知识表示的评价标准	(42)
§ 2.2	逻辑表示法	(46)
2.2.1	用一阶谓词表示知识	(46)
2.2.2	归结原理简介	(52)
2.2.3	逻辑表示法应用举例	(55)
§ 2.3	规则表示法	(64)
2.3.1	基本产生式系统	(65)
2.3.2	规则表示法应用举例	(67)
§ 2.4	语义网络表示法	(73)
2.4.1	用语义网络表示知识	(74)
2.4.2	处理语义网络表示的知识	(81)
§ 2.5	框架表示法	(84)
2.5.1	用框架表示知识	(85)
2.5.2	框架系统与框架网络	(87)
	习题与思考题	(90)
	参考文献	(91)
第三章	逻辑推理与搜索策略	(92)
§ 3.1	逻辑推理	(92)
3.1.1	正向推理	(93)
3.1.2	反向推理	(94)
3.1.3	混合推理	(97)
§ 3.2	搜索策略	(98)
3.2.1	无知识搜索	(101)
3.2.2	有知识搜索	(110)
3.2.3	利用元知识进行搜索	(121)
	习题与思考题	(124)
	参考文献	(125)

第四章 似然推理	(126)
§ 4.1 概述.....	(126)
4.1.1 不确定性.....	(127)
4.1.2 似然推理的基本要求.....	(128)
§ 4.2 确定理论方法.....	(130)
4.2.1 基本度量.....	(130)
4.2.2 CF 模型.....	(132)
4.2.3 一个例子.....	(133)
§ 4.3 主观 Bayesian 方法.....	(136)
4.3.1 主观概率.....	(136)
4.3.2 概率传播.....	(140)
4.3.3 概率组合.....	(142)
4.3.4 组合证据.....	(144)
4.3.5 一个例子.....	(145)
§ 4.4 可能性理论.....	(149)
4.4.1 基本概念.....	(150)
4.4.2 计算公式.....	(151)
§ 4.5 证据理论方法.....	(152)
4.5.1 Dempster/Shافر 证据理论.....	(153)
4.5.2 评价可靠性.....	(158)
4.5.3 一个例子.....	(164)
4.5.4 讨论.....	(168)
习题与思考题.....	(175)
参考文献.....	(176)
第五章 MYCIN 系统	(177)
§ 5.1 概述.....	(177)
5.1.1 背景.....	(177)
5.1.2 总体结构.....	(178)
§ 5.2 知识和数据的表示及组织.....	(179)

5.2.1	数据的表示及组织	(179)
5.2.2	知识的表示及组织	(182)
§ 5.3	控制策略	(194)
5.3.1	推理方法	(195)
5.3.2	询问数据	(199)
5.3.3	形成治疗方案	(201)
§ 5.4	解释方案	(204)
5.4.1	解释子系统知识	(205)
5.4.2	理解问题	(207)
5.4.3	提供解释	(209)
§ 5.5	改进与扩充	(209)
5.5.1	扩充知识库	(210)
5.5.2	修改控制策略	(211)
5.5.3	修改生成治疗方案的方法	(214)
习题与思考题		(217)
参考文献		(218)
第六章	TEIRESIAS 系统	(220)
§ 6.1	元知识	(221)
6.1.1	规则模型	(221)
6.1.2	模式	(224)
6.1.3	函数模板	(227)
6.1.4	元规则	(228)
§ 6.2	元知识的应用	(230)
6.2.1	获取新规则	(230)
6.2.2	获取新参数值	(233)
6.2.3	其它应用	(237)
§ 6.3	EMYCIN 系统	(237)
6.3.1	基本结构	(238)
6.3.2	利用 EMYCIN 开发专家系统	(240)

习题与思考题.....	(241)
参考文献.....	(241)
第七章 专家系统开发方法.....	(242)
§ 7.1 概述.....	(242)
7.1.1 开发专家系统的特点.....	(242)
7.1.2 设计专家系统的原则.....	(244)
7.1.3 专家系统的选题原则.....	(244)
7.1.4 开发专家系统的难点.....	(247)
7.1.5 开发专家系统的工作.....	(247)
§ 7.2 开发专家系统的基本步骤.....	(249)
7.2.1 准备阶段.....	(249)
7.2.2 研究问题.....	(250)
7.2.3 整理知识.....	(251)
7.2.4 建立模型系统.....	(252)
7.2.5 改进与扩充.....	(254)
§ 7.3 评价专家系统.....	(255)
7.3.1 评价的原则.....	(255)
7.3.2 评价的方法.....	(259)
习题与思考题.....	(262)
参考文献.....	(263)

第一章 基本原理

本章的目的主要是使读者了解专家系统 (Expert System, 简称ES) 的基本思想、基本特征。为了加深读者对专家系统的理解, § 1.3 从技术上和概念上探讨了传统数据处理 (Traditional Data Processing, 简记为TDP) 系统、人工智能 (Artificial Intelligence, 简称AI) 系统和专家系统之间的区别; § 1.4 介绍了专家系统的结构。

§ 1.1 专家系统的基本思想

自从世界上第一个专家系统——DENDRAL 问世以来, ES 研究者们开发了很多高水平的专家系统, 它们可以像人类专家一样解决应用领域中的困难问题。例如, DENDRAL 系统可以像物理化学专家一样推断分子的组成结构; MYCIN 系统像一个经验丰富的感染病医生为患者诊断、治疗感染性疾病; PROSPECTOR 系统可以像优秀的经济地质专家一样帮助地质工作者寻找矿藏; XCON (原称R1) 可以按照顾客的要求处理VAX 系列计算机系统的配置问题等等。是什么因素使得专家系统达到如此高的水平? 专家系统的优越性何在? 本节主要讨论这些问题。

1.1.1 定义

何谓专家系统? 目前对此尚无一个精确的、全面的、众所公认的定义。产生这种状况的因素很多, 主要原因是 ES 的历史相当短暂, 对其理论研究工作仅是刚刚开始, 其次, 是由于各个应

用领域的特点不同,人们研制专家系统的出发点不同,看待问题的角度不同,追求的目标不同,造成了对专家系统定义的不同看法。此外,ES的发展史是各种系统不断进化的历史,人们在不同的时期对ES有不同的理解,也是造成专家系统有多种定义的一个因素。

尽管如此,研究者们对ES还是有一种比较一致的。粗略的定义,这就是:

专家系统是一个(或一组)能在某特定领域内,以人类专家水平去解决该领域中困难问题的计算机程序。

从以上定义中可以看出,专家系统强调的是高性能,因此,任何解题能力达到了同领域中人类专家水平的计算机程序都可以称ES专家系统。但实际上这个定义具有非常丰富的内涵,并非用任何方法设计的程序都能达到人类专家水平。因此这个定义只是对ES的笼统概括,它并没有精确反映ES与其它计算机应用程序的区别。专家系统作为一类计算机程序有它自己的特点,这将在§1.2中详细阐述。

ES是一门综合性很强的边缘学科,开发一个成功的专家系统需要系统设计人员与应用领域中的人类专家密切合作。一般将ES的设计人员称为**知识工程师**(Knowledge Engineer,简称KE),将参加专家系统开发的人类专家称为**领域专家**(Domain Expert,简称DE)。

1.1.2 基本思想

为了了解ES为什么会达到很高的性能,首先要考察一下人类专家为什么比其它人高明。

我们每个人都具有解决各种各样问题的能力,如进行计算、下棋、修理自行车、烧菜等。但除了本专业以外,我们处理其它领域问题的能力都很有有限,即所谓万能专家是不存在的。产生这种状

况的根本原因在于一个人解决问题的能力依赖于他所掌握的知识多寡。我们之所以能够较好地处理本专业的问题，而不能解决其它领域的困难问题，其原因就在于我们掌握了较多与本专业有关的知识，而对其它领域的知识却了解甚少。因此，人类专家之所以成为某一领域中的专家，其关键之处就在于他掌握了关于该领域的大量专门知识 (Expertise)。在这些知识中，一部分是他从书本上或向他人学来的，但主要的还是他在长期实践中逐渐积累起来的。正是那些在实践中积累起来的经验性知识，使专家在处理问题时比别人技高一筹。

由此可知，如果计算机能够存贮关于某一领域的大量专门知识，并能有效地利用这些知识去解决问题，那么计算机也应该能很好地解决该领域的复杂问题。专家系统的基本思想概出于此！因此，ES的整个理论基础可以用英国伟大的哲学家 E. Bacon 的一句名言：“知识就是力量”来概括。

A. Barr 和 E. A. Feigenbaum 在参考文献^[7] 中曾精辟地指出：“专家系统的性能水平主要是它所拥有的知识数量和质量 的函数。”一个专家系统所知道的知识越多、质量越高，它解决问题的能力也就越强。因此，专家系统实际上是通过在系统中存储大量与应用领域有关的专门知识来取得高水平的问题求解能力。

§ 1.2 专家系统的基本特征

专家系统强调系统所拥有的知识对系统的性能水平有着重要影响。专门知识是ES的焦点。因此专门知识的特点对ES的理论和实践都有着不可低估的影响。本节从专门知识的特点出发，来探讨专家系统的基本特征。

1.2.1 专门知识的启发性

在人类专家所掌握的大量专门知识中，真正使他比一般专业人员技高一筹的大都是在他长期实践中累积起来的宝贵经验。这些知识通常没有严谨的理论依据，很难保证其在各种情况下的普遍正确性，但在一定条件下解决问题，它们往往简洁而有效，能够起到有效地化简问题或快速求解问题的作用。具有这种特点的知识称为**启发性知识** (Heuristic Knowledge)，而把能够确保其正确无误的知识称为**逻辑性知识** (Logical Knowledge)。例如，质因子分解唯一性定理：

如果 N 是自然数，那么 N 有唯一的质因子分解。

这是一条**逻辑性知识**，它对任意自然数来说都是正确的。而下面一条知识：

如果某人食指呈黄褐色，那么他是吸烟者。

这是一条**启发性知识**。因为并非所有食指呈黄褐色的人都一定是吸烟熏的，也可能是涂了碘酒或其它原因造成的。但利用这条知识可以使我们比较容易地判断某人是否为吸烟者，并且多数情况下能够得出正确的结论。使用启发性知识处理问题是人类推理的特征之一。人类专家的技能也主要来源于这些启发性知识。因此，专家系统要达到人类专家处理问题的水平就必须能够存储和利用这些启发性知识。

1.2.2 专门知识的专有性

由于专门知识大多是人类专家在实践中积累起来的启发性知识，所以通常只有专家本人了解它们。同时启发性知识多来源于经验，没有正确性保障。一般情况下，这些专门知识是不会写入教科书或其它专业书籍中的。因此，人类专家的专门知识通常不被他人所了解，它们基本上是专家本人的专有知识。正因为如此，

一方面这些启发性知识鲜为人知,另一方面它们又没有正确性保障,所以如果ES像其它应用程序一样只提供最终结论而不对其做任何解释,则势必会影响用户对这些结论的信任程度,特别是当系统的结论与用户的看法相抵触时,更是如此。因此,专家系统应该具有解释功能。它可以回答用户的问题,告诉用户它是如何解决问题的,使用了哪些知识,这些知识的内容是什么以及它们的来源和合理性等等,使专家系统对用户来说是“透明的”。较好的透明性也有助于知识的检验和修改。

1.2.3 专门知识的不稳定性

专门知识多是启发性知识,没有正确性保证,所以,相对于逻辑性知识来说它们是不稳定的。一旦遇到新情况、新问题,人类专家随时可能修正已有的知识或归纳出新知识以便能够处理这些新问题。专门知识的不稳定因素要求ES应具有较大的灵活性。也就是说,系统知识应容易修改和扩充,以便不断适应新情况的需要。

1.2.4 专门知识难于抽取

专门知识是人类专家长期积累起来的,这些知识在专家头脑中往往并没有很好的组织结构。这主要表现在领域专家在为ES提供知识时往往很难说清他们知道多少知识,即使让他们说明对于解决某种类型的问题他们知道多少知识也是比较困难的。这给专家系统的开发工作造成极大的困难,以往ES的开发经验都证实了这一点。因此,要求领域专家在短期内把他所知道的知识都整理出来是不现实的。一种比较简单而有效的方法是随时把领域专家整理出来的知识加入到系统中,这就决定了ES的开发是一个扩充性过程。此外,研制一个成功的专家系统往往需要利用大量的实际例子对系统进行反复测试,从中发现错误的知识加以剔除,

并对系统不断修改和扩充，以使它达到较高的性能。以上这些因素也需要 ES 具有较大的灵活性。

综上所述，一个专家系统应具有以下三个特征：

启发性 (Heuristic)——不仅能使用逻辑性知识，也能使用启发性知识；

透明性 (Transparency)——能向用户解释它们的推理过程，还能回答用户的一些关于它自身的问题；

灵活性 (Flexibility)——系统中的知识应便于修改和补充。

§ 1.3 传统的数据处理、人工智能与专家系统

自从电子计算机问世以来，计算机的应用已渗透到人类社会的各个领域，为人类创造了巨大的财富。从计算机目前的发展水平来看，计算机的应用主要集中在科学计算、信息管理等数据处理任务，在这方面的应用比较广泛而成熟。人工智能正在崛起，并显示了巨大的生命力。它被誉为下一世纪的带头学科，引起世界各国的高度重视。有人估计，到 1990 年，AI 产品的销售额可望达到八十亿美元。专家系统是人工智能应用的最前沿，它对人工智能未来的发展有着不可低估的影响。

从 TDP 系统到 AI 系统，再到专家系统在思想方法上有一系列重大变迁。本节主要从比较的角度，阐述这三种系统之间的区别，进一步介绍 ES 的思想和特点。

1.3.1 TDP 系统的特点

计算机的应用主要是通过人们编制各种各样的应用程序来实现的。在传统的数据处理任务中，用计算机处理问题的典型过程是：程序设计人员对问题进行仔细研究，进而找出对于该类问题

切实可行的**算法解**^{〔注〕},并把这种解法编成程序,计算机按照程序所描述的方法去解决实际问题。因此,TDP系统的主要特点是知识寓于程序中。即,程序就代表着系统解决问题所使用的知识、方法和策略。这种表示知识的方法称为知识的**过程性表示**(Procedural Representation)。过程性表示法主要有以下几个弊病:

1. 不易表示大量的知识,并且所表示的知识难于理解和修改。由于程序设计语言的语句并非反映人类智能活动的基本单位,所以即使解决一个简单问题往往也需要许多语句才能完成。例如,象X、Y值互换这样非常简单的操作就需要:

$$Z := X$$
$$X := Y$$
$$Y := Z$$

三条语句才能完成。当问题比较复杂时,会导致处理问题的程序相当庞大。在这些程序中,与处理问题有关的知识与与处理问题无关的程序实现方面的知识(如局部变量的引入,出于时间和空间的考虑所采用的各种程序设计技巧等)混杂在一起,使得解决问题的知识难以辨认。程序也因此而难以理解。当程序比较庞大时,程序中各个语句之间的关系错综复杂,给调试和修改程序带来了很大困难。为了使程序便于理解和修改,人们提出了结构设计的方法,收到了一定的效果。但由于没从根本上改变用程序表示知识这一关键问题,所以它没能达到令人满意的程度。

2. 只适合于表达完全正确的知识。程序实际上是一种非常

〔注〕一个问题的算法解有三个主要特征:

- (1) 通明性: 该算法能够求解该类问题的所有具体问题;
- (2) 确定性: 算法中任何状态和步骤都必须是精确、唯一的;
- (3) 有效性: 用该算法求解该类问题的任何一个具体问题时,都可以经有限步计算得出结果。