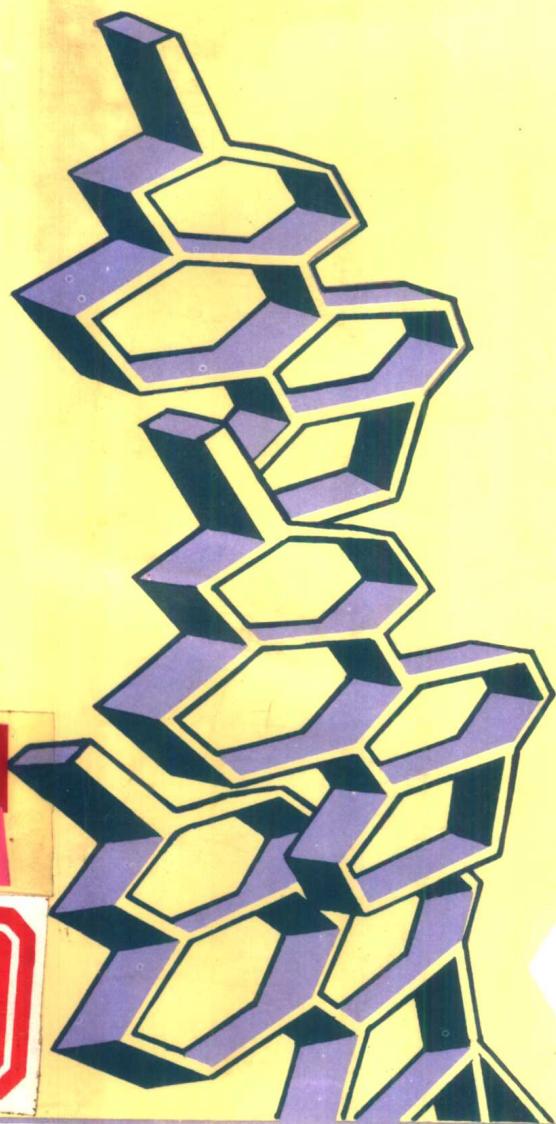


专家系统PROLOG 程序设计

陈家发



中山大学出版社

专家系统 PROLOG 程序设计

**PROLOG PROGRAMMING
FOR EXPERT SYSTEMS**

陈家发

中山大学出版社

专家系统 PROLOG 程序设计
PROLOG PROGRAMMING FOR EXPERT SYSTEMS

陈家发

*

中山大学出版社出版发行

(邮政编码:510275)

广东省新华书店经销

中山大学印刷厂印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:4 字数:12万字
1992年12月第1版 1992年12月第1次印刷

印数:1—4000册

ISBN7-306-00641-X/TP·15

定价:3.80元

前 言

各行各业都希望能有专家来解决问题,以提高工作效率和经济效益。但专家难得。人们可求助于专家系统(一种计算机程序系统)。在国外,专家系统已被广泛应用于各个需要由专家来解决问题的领域,专家系统的技术也被应用于各种计算机智能系统中。在国内,专家系统的研究已形成一股热潮。PROLOG 语言是一种计算机人工智能语言。在日本,PROLOG 语言被选为开发第五代计算机(智能计算机)的核心语言。而 Turbo PROLOG 是一种在 IBM PC 系列微型计算机上运行速度最快、功能极强、易于使用的 PROLOG 语言,目前受到国内外的推崇(87 年,国内已开发出汉化的 Turbo PROLOG 语言)。与其他计算机语言相比,Turbo PROLOG 语言能用较简明的语句来实现复杂的推理,所以它在专家系统程序设计中正日益受到重用。

现在有关专家系统理论的书籍不少。但这些书籍尚不能满足广大读者要求尽快地学习编写、自己设计多种推理形式的专家系统的实际需要。而目前专门介绍专家系统程序设计的书籍却寥寥无几。针对这一情况,作者编写了此书。本书介绍专家系统的基本理论和用 Turbo PRLOG 语言来编写专家系统的方法,是针对未学过计算机语言而想用较短时间来初步掌握专家系统程序设计的读者而写的。读者经过短时间的学习后,就能编写出多种推理形式的专家系统、并对写出的程序有较深刻的理解。学过计算机语言、甚至学过专家系统理论的读者,也可从本书中学到用 Turbo PROLOG 语言来编写专家系统的方法及技巧,并从书中 6 种推理形式的专家系统程序示例中得到启迪。对于专家系统程序设计的老手,

本书提供的分析手段、设计原则和 6 个专家系统示例也有新颖的参考价值。

作者是根据多年对专家系统 PROLOG 程序设计所作的研究成果及三年来的教学实践经验写成此书的,书中所有的程序都通过上机检验。本书篇幅虽少,但内容充实、新颖。书中配有大量的例子,利于读者自学。对各个章节中的重要概念均用精心设计的例子来深入浅出地加以说明。本书还注重内容的完备性,对用到的概念、语句均作说明,使读者无需再去翻阅别的书籍。例如,给出了必要的专家系统理论基础,对用到的 Turbo PROLOG 语句都作语法说明并给出有实用意义的例子。与其他有关专家系统的书籍相比,本书有如下独特的内容:

1. 介绍了其他书籍未提出的“树型分层法”,这是一种实用方法,能指导读者有条理地描述、整理专家知识。由此方法产生的分类判别树也是进一步设计知识库和推理机的有力的辅助分析工具。本书提出先用一种判别树模型来描述专家知识,再用规则或框架来对判别树做形式化。根据此判别树模型,很容易写出相应的规则或框架形式的知识库。

2. 目前,尚未见国内外有书能对几乎是相同形式的知识库,编写出逆向推理、正向推理、双向推理、可做多答案等 4 种专家系统的 PROLOG 程序。本书对于几乎是相同形式的知识库,不依靠 PROLOG 的表结构,就能编写出逆向推理、正向推理、双向推理、可做多答案等 4 个专家系统的 Turbo PROLOG 程序。其中,正向推理、双向推理、可做多答案等 3 个专家系统均是作者独立开发的。而逆向推理专家系统主要参考美国 Borland International 公司 1986 年出版的 Turbo Prolog 语言配套软件中的一个动物分类专家系统的示例,作者曾发现这个专家系统的推理部分有错漏,在本书中给予了纠正,并对其他部分作了改进,使之能得出完全正确的答案且推理效率更高。

3. 其他书缺少双向推理的专家系统,本书则给出了两种知识

表示形式的双向推理的专家系统 `jfchen.pro` 和 `animal3.pro`, 这是本书的一大特点。`jfchen.pro` 是作者创作的专家系统开发工具 `MPRESS` 的推理机的简化版本。它不但可做逆向推理、还可做以正向推理开始的双向推理、且能解释 **WHY** 和 **HOW** 两种问题。在推理中, `jfchen.pro` 能模仿人来聪明地判断问题。`jfchen.pro` 所用的语句也较为通用, 易于移植。它的推理部分可作为通用专家系统开发工具的推理机, 也可应用于各种专家辅助分类判别教学系统中。不带注释的大程序往往使人望而生厌。`jfchen.pro` 虽大, 但在程序中, 对每个语句的作用都做了全面的、思路清晰的注释, 使程序变得容易理解。这种全面注释大程序的做法也是本书所特有的。

另外, 本书指出: 在分类判别问题中, 规则型知识与框架型知识可以表现得极为相似, 对分类判别的框架型知识的推理可用本书规则型知识的推理来实现。

本书的正文内容分为三大部分:

(1) 专家系统的基本理论。即第一章的内容, 它是第四、五章的理论基础。

(2) **Turbo PROLOG** 语言的基础部分。即第二、三章, 简明地介绍与第四、五章有关 **PROLOG** 语言知识 (绝大多数概念是各种 **PROLOG** 语言所共有的基本概念)。

(3) 专家系统程序设计, 即第四、五章的内容。第四章设计并解释用 **Turbo PROLOG** 语言所写的 5 种推理形式的专家系统程序示例。第五章是为那些希望深入掌握专家系统推理程序设计技巧的读者而写的。先介绍表的基本概念。然后, 作者以分类判别树为设计知识库和推理机的辅助分析工具, 利用 **PROLOG** 的表中元素个数可变的灵活性和 **Turbo PROLOG** 的动态数据库的记忆专长等优点, 设计并详细地解说了一个具有解释功能且智能性强的双向推理专家系统 `jfchen.pro`。

书后的附录简介 **Turbo PROLOG** 常用的编程操作方法。

本书通俗易懂、简明扼要, 避免泛泛地罗列理论, 着重程序的

实现方法,是较为实用的专家系统程序设计的速成教材,可供大专院校计算机及有关专业的师生、开发应用程序的科技人员、对专家系统感兴趣的微型计算机用户学习或参考。

作者于 1988 年到美国田纳西大学计算机系研修智能数据库期间,在 PROLOG 编程训练方面,曾得到 M. Zemankova 教授的指导。作者特此对 Zemankova 教授表示衷心的感谢。

作者 1992年8月于 广州

内容简介

本书着重介绍用 Turbo PROLOG 语言的基本语句来编写多种推理形式的专家系统之方法和技巧,内容新颖,论述精炼,由浅入深,有大量精心设计的例子可助读者自学速成,是一本专家系统程序设计的实用书籍。

全书共分五章,内容包括:专家系统的基本理论,PROLOG 语言基础,Turbo PROLOG 语言的基本语句,用 Turbo PROLOG 语言编写的逆向推理、正向推理、双向推理、可做多答案、带双重判别树模型等 5 个专家系统程序示例,一个具有解释功能、可给出降级解、可做逆向和双向推理的通用专家系统。书中充分利用了一种独特的判别树模型来有条理地描述知识、设计知识库和推理机。

本书可供高、中等院校计算机及有关专业的师生、开发应用软件的科技人员、微型计算机用户学习或参考。

目 录

前言.....	1
第一章 专家系统的基本理论	1
§ 1.1 专家系统的定义和历史	1
§ 1.1.1 专家系统的定义	1
§ 1.1.2 专家系统的简史	1
§ 1.2 专家系统的三个基本部分	4
§ 1.3 知识表示	6
§ 1.3.1 产生式规则和产生式专家系统	6
§ 1.3.2 产生式规则的组建方法——树型分层法	7
§ 1.4 推理技术	12
§ 1.4.1 推理方式	13
§ 1.4.1.1 正向推理	13
§ 1.4.1.2 逆向推理	14
§ 1.4.1.3 双向推理	15
§ 1.4.2 规则的冲突消解策略	16
§ 1.5 产生式专家系统的工作方式	18
§ 1.6 框架表示法简介	20
第二章 PROLOG 语言入门	25
§ 2.1 PROLOG 语言的程序结构	25
§ 2.1.1 事实	25
§ 2.1.2 规则	26
§ 2.1.3 提问	27
§ 2.1.4 PROLOG 程序例子	28

§ 2.2	变量的引入	28
§ 2.3	PROLOG 的推理方法	30
第三章	Turbo PROLOG 语言的基本语法	36
§ 3.1	常量和变量	36
§ 3.1.1	常量	36
§ 3.1.2	变量	38
§ 3.2	事实、规则和提问的 Turbo PROLOG 语法格式	38
§ 3.3	Turbo PROLOG 程序常用结构	40
§ 3.4	Turbo PROLOG 的动态数据库	41
§ 3.5	Turbo PROLOG 常用的内部谓词	43
§ 3.5.1	readln	43
§ 3.5.2	readchar	43
§ 3.5.3	write	43
§ 3.5.4	nl	44
§ 3.5.5	not	45
§ 3.5.6	asserta	45
§ 3.5.7	assertz	46
§ 3.5.8	retract	46
§ 3.5.9	比较	47
§ 3.5.10	!	48
§ 3.5.11	fail	50
§ 3.5.12	readint(X)和 readreal(X)	51
§ 3.6	算术运算	51
第四章	用 Turbo PROLOG 语言编写专家系统	53
§ 4.1	逆向推理的专家系统	53
§ 4.2	正向推理的专家系统	62
§ 4.3	双向推理的专家系统	66
§ 4.4	可做出多答案的专家系统	73

§ 4.5	用不同的程序表示知识库和推理机	79
§ 4.6	利用更复杂的判别树模型来建立专家系统	81
§ 4.7	结束语	84
第五章 具有解释功能及智能性强的		
	双向推理专家系统	86
§ 5.1	表的基本概念	86
§ 5.2	处理表的例子	89
§ 5.3	编写具有解释功能及智能性强的	
	双向推理专家系统	91
§ 5.3.1	设计思想	91
§ 5.3.1.1	知识库的构造	93
§ 5.3.1.2	推理机的设计原则	94
§ 5.3.2	通用专家系统 jfchen.pro	95
参考文献		114
附录: Turbo PROLOG 常用编程操作功能		115

第一章 专家系统的基本理论

§ 1.1 专家系统的定义和历史

§ 1.1.1 专家系统的定义

专家系统(expert system)是一种使用人类专家知识来做出判断推理的计算机程序系统。它能保存大量的专家知识,并使用专家知识来推理、解决问题。它不会疲劳、不会忘记已知的知识。它还可以用来传授专家的知识、培养新手。

专家系统已被广泛应用于各个需要由专家来做出判断推理、解决问题的领域(请参阅参考文献[1]),专家系统的技术也被应用于各种计算机智能系统中。在各个领域中最常见的判断推理问题是分类判别问题,可由分类判别专家系统来解决,本书专门介绍这种分类判别专家系统的基本理论及实现方法。

§ 1.1.2 专家系统的简史

在计算机科学中有一门学科叫做人工智能(Artificial Intelligence),简称 AI。

在 60 年代, AI 科学家试图通过发现解决各类问题的一般方法来模仿复杂的思维过程,他们把这些方法运用于通用问题求解程序中。然而,一个程序能处理的问题类型越多,这个程序对个别问题所能做的就越少(因为个别问题有特性,通用程序无法包含世上任意问题的特性)。开发通用程序的企图没有获得成功。

于是, AI 科学家决定用别的方法来使计算机程序具有智能

性。他们针对较特别的问题来开发通用的方法和技术。在 70 年代,他们集中注意力去研究知识表达和搜索技术。研究“知识表达”,即研究怎样系统地陈述问题并使它们易于求解。研究“搜索”,即研究怎样聪明地查找解答,使得查找时不使用太多的时间和花费过多的计算机存储空间。在这期间,也取得了一些成绩。

到了 70 年代后期,回顾过去的工作及成效,AI 科学家才开始认识到:程序的解题能力不仅取决于它所采用的形式化体系和推理模式,而且取决于它所拥有的知识。这是一个概念性的重大突破。这种认识可简单地描述如下:

要使一个程序具有智能,必须向它提供大量有关问题领域的高质量的专业知识(expertise)。

这种认识导致了开发能在某些专门领域具有与专家同等水平的解题能力的程序。这种程序即所谓“专家系统”。

最早的著名的专家系统有:

化学专家系统 DENDRAL(1965—1968 年)。它是世界上第一个专家系统,由美国 Stanford 大学的 E. A. Feigenbaum 等人研制。它能进行质谱数据分析,推断化学分子结构,达到了化学家的水平。

医疗诊断专家系统 MYCIN(1971—1974 年)。它是第一个结构较完整、功能较全面的专家系统。它由 Stanford 大学的 E. H. Shortliffle 等研制。在该系统中,第一次明确地采用了“知识库”的概念。它可为诊断和治疗感染性疾病提供快速的咨询。当主治医生不是感染性疾病的专家,而要赶紧做出治疗及用药决定时,MYCIN 的帮助是很有必要的。1979 年,对 MYCIN 的正式评价表明:在患菌血病和脑膜炎的病人诊断及选择疗法方面,MYCIN 系统比治疗感染疾病的专家要强。

内科诊断专家系统 INTERNIST /CADUCEUS。它是知识存储量最为巨大的专家系统。由美国 Pittsburgh 大学的 H. Pople 等于 1975 年研制。它包括了 75% 的内科诊断项目,约 500 多种内科疾

病,存储有 3500 多个症状。一个人类专家无法精通诊断 500 多种疾病的方法,也无法记住并随时回忆出这么多的疾病及其症状。最早研制的是 INTERNIST-1,改进为 INTERNIST-1,最后发展成为 CADUCEUS 系统。INTERNIST/CADUCEUS 具有诊断内科疾病的专家水平,它能解答临床病理学会提出的大部分题目。这些题目刊登在《New England Journal of Medicine》杂志上,是对医生进行的一种智力测验。

70 年代中期,在各种具体的专家系统的基础上,AI 科学家总结出一般原理与技术,研制了用于制造专家系统的系统,即专家系统开发工具 (expert system development tool)。使用专家系统开发工具来制造专家系统可以大幅度地缩短建造专家系统的时间、减少编写程序的工作量。其中的一种开发工具叫做专家系统外壳 (expert system shell),是把已有的专家系统的通用部分提取出来而形成的。例如,去掉 MYCIN 的知识库,把 MYCIN 的通用部分留下来形成了专家系统外壳 EMYCIN (即 Essential MYCIN 或 Empty MYCIN)。利用专家系统外壳,只需按要求填入相同类型的新知识,就可生成新的专家系统 (但推理机制完全受到专家系统外壳原有水平的限制)。

我国研制专家系统起步较晚,在 70 年代末才开始。早期的研究主要集中在中医诊疗方面。1979 年 1 月由郭荣江等研制的“关幼波肝病电脑中医诊疗系统”在北京通过了技术鉴定,在国内外引起了很大的反响。从这以后,全国不少单位相继开展了计算机辅助判断方面的研究工作。但早期研制的系统没有解释功能、修改知识库会影响推理程序。到 80 年代初期,我国注意引进学习外国的专家系统技术,开始研制具有解释功能、知识库与推理程序分开、修改知识库不影响推理程序的各种专家系统及专家系统开发工具。1982 年,北京航空航天大学研制成功我国第一个专家系统开发工具: BIAAPS。目前,我国在中医专家系统方面有一定的优势,我国的专家系统成果也已接近国际先进水平。

§ 1.2 专家系统的三个基本部分

专家系统有三个基本部分：知识库，综合数据库和推理机。

1. 知识库(knowledge base)。它用于存贮从专家那里得到的关于某个领域的专门知识和经验，供推理机利用。

2. 综合数据库(data base)[又称为上下文(context)、黑板(blackboard)、工作存储器(working memory)]。在计算机科学中，“数据”既是数字，也可以是文字符号。综合数据库用于存贮推理所涉及的初始数据和推理过程中得到的各种结果。即存放用户告知的一些事实和推理跟踪记录。例如，在医疗专家系统中，综合数据库存放的是患者的姓名、年龄、症状、推理记录、诊断结果等。总之，综合数据库用于存贮专家系统当前要处理对象的一些事实信息。

3. 推理机(inference engine)。它是一组程序。用于控制整个专家系统的工作。它根据当前输入的数据(即综合数据库中的事实)，利用知识库中的知识，按某种推理策略去推导出结论(而不只是简单地搜索现成的答案)。“推导出结论”与“搜索现成的答案”是不同的，请看一个例子。某单位三个人的情况如下：

姓名	年龄	性别
张三	29	男
李四	50	女
王五	18	女

问题 1：“这个单位有 29 岁的人吗？”。根据上表可直接找出张三。这是“搜索现成的答案”。

问题 2：“这个单位有年轻人吗？”。根据上表无法直接得到结论。但根据某知识“35 岁以下的人是年轻人”，则可推知张三和王

五是年轻人。这是“推导出结论”。从这个例子我们也可以看到,利用知识可推出结论。在日常工作中,很多结论是靠知识来推得的。

在专家系统中,利用知识库、综合数据库和推理机来推理的流程图如图 1.1 所示。

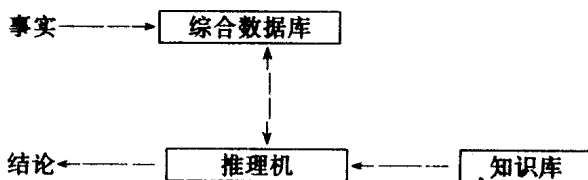


图1.1 用专家系统的三个基本部分来推理

用户输入的事实被存入综合数据库。推理中,推理机按某种推理策略来调用综合数据库中的信息和知识库中的知识,在推理过程中推得的信息也被不断地存入综合数据库(供推理机稍后查用)。最后输出推得的结论。

可以说,在专家系统中,“知识就是力量”(英国哲学家 E. Bacon 的一句名言)。知识库和推理机是专家系统的核心部分。而构造知识库和推理机的理论基础是知识表示与利用知识来推理的技术,将在下面各节予以介绍。

另外,专家系统还附有下列两部分:

1. 解释程序(explanatory interface)。用于回答用户提出的问题。例如,解释系统为什么要提问当前这个问题(WHY),系统如何得到这个结论(HOW),等等。以便于用户了解、学习专家知识。

2. 知识获取(knowledge acquisition)程序。它具有学习功能,即把专家的知识取入知识库。用户可通过它来修改、删除、增加知识库中的知识。

由于这两部分不直接影响专家系统的推理工作,所以本书不对它们作进一步的讨论。

这里要顺便指出的是,“专家系统”是“知识工程学”应用的一

个主要方面。知识工程学是人工智能研究的重要领域之一,这是一门很年轻的学科。人工智能学科需要对知识表示、推理方法、知识获取等一系列涉及知识的重要课题进行深入的研究。美国著名的人工智能专家、Stanford 大学的 E. A. Feigenbaum 教授,在 1977 年于美国麻省理工学院召开的第五届国际人工智能会议上正式提出“知识工程学”(knowledge engineering),提出把对知识的表示、处理、获取及利用知识来推理等一系列问题综合成为“知识工程学”的研究范围。

§ 1.3 知识表示

专家系统包含有知识库,故我们需要知道应该怎样在知识库中表示知识,即要研究知识表示(knowledge representation)的问题。知识表示就是指知识的形式化或模型化。

§ 1.3.1 产生式规则和产生式专家系统

在当前的专家系统中用得最广泛的知识表示方法有:产生式规则和框架表示法。其中,产生式规则表示法在专家系统中用得最多。本书主要介绍产生式规则表示法,并在稍后对框架表示法作一简介。(本书将会指出,在分类判别问题中,规则型知识与框架型知识可以表现得极为相似,对分类判别的框架型知识的推理可用本书规则型知识的推理来实现。)

产生式规则(production rule),又称“产生式”(production),或简称“规则”(rule)。基于产生式规则的知识表示形式如下:

IF 〈条件〉 THEN 〈结论/动作〉

该规则有两部分:IF 部分和 THEN 部分。IF 部分又叫做前提(antecedent)或前项,THEN 部分又叫做结论(consequence)或后项。该规则的意思是:当 IF 部分的〈条件〉被满足时,就得出(执行) THEN 部分的〈结论〉(动作)。这种规则中的“THEN”含有“得出”、