

知识工程语言 与应用

陈世福
潘金贵 等编

南京大学出版社

NANJING UNIVERSITY PRESS

知识工程语言与应用

陈世福 潘金贵 陈兆乾 编写
袁 峰 谢俊元

南京第一工业大学
南京第一工业大学出版社
1989·南京

内 容 简 介

本书通过对美国几个典型的商品化知识工程语言的剖析,详细地介绍了知识工程语言设计的新思想、新技术和发展方向。

全书分五个部分共20章。内容包括:专家系统和开发专家系统的知识工程语言的基本概念、使用方法,并具体地描述了M.1, INSIGHT2, OPS5+和GURU等PC机上有代表性的知识工程语言的结构和功能特点,以及利用上述语言建造典型专家系统的应用实例。

本书适合作为高等院校知识工程语言课程的教材或教学参考书,也可供从事计算机应用、人工智能、专家系统开发等方面工作的科技人员参考。

与本书配套的软件有M.1, OPS5+, INSIGHT2和GURU等知识工程语言的系统盘和它们的汉化版本以及实例盘共20多枚。

知 识 工 程 语 言 与 应 用

陈世福 潘金贵 陈兆乾 编写
袁 峰 谢俊元

南京大学出版社出版

(南京大学校内)

江苏省新华书店发行 江苏省武进县村前印刷厂印刷

1989年2月第1版 1989年2月第1次印刷

开本 787×1092 1/16 印张 30.5 字数 752千

印数 1-3000

ISBN 7-305-00256-9

TP·18

定价: 6.15元

责任编辑: 顾其兵

出 版 说 明

人工智能是50年代兴起的一门新兴学科。30多年来，研究的进展和取得的成就都十分惊人。因此，它被誉为本世纪的重大科学技术成就之一。

人工智能是计算机科学的一个重要分支，它的研究领域十分广泛，涉及模式识别、物景分析、自然语言理解、数据库的智能检索、博弈、自动定理证明、自动程序设计、专家系统、机器翻译、机器学习、机器人等领域。随着人工智能的基本理论和技术的深入研究和广泛应用，它不仅正在深刻地影响着计算机科学的其他领域，而且对信息科学、控制科学、系统科学、数学、心理学、电子学、生物学、医学、语言学和哲学等学科产生愈来愈深刻的影响，并带来巨大的社会效益。

应广大科技人员、计算机工作者、研究生、大学生系统地学习人工智能的需要，我们在近期内组织出版一套具有特色的人工智能丛书：

《人工智能导论》

《PROLOG程序设计教程》

《TURBO PROLOG工具库》

《知识工程语言与应用》

前 言

60年代中后期开始出现的专家系统是当前人工智能研究中最富于实际应用的领域，目前研究成功的专家系统已广泛地应用于一些投资成本高的领域，如石油钻探、医疗诊断、设备故障检测等，取得了重大效益，因而使得它在世界各国高科技发展计划中占有重要的地位。

专家系统的一个重要贡献，可能是它有助于遏止社会最珍贵的财富之一——专门知识的流失。用从人类专家头脑中挖掘出来的专门知识和经验构筑起来的专家系统，可使专家的专长不受时间和空间的约束，为更多的专业工作者提供咨询和建议，从而提高一般专业人员的工作水平。所以在过去的十多年里，专家系统的发展显示了它特有的实用性及巨大的经济效益。

但是，建造一个专家系统的代价也是十分昂贵的，它需要具有丰富经验的领域专家和受过良好训练的知识工程师的长期紧密合作。一般认为，建造一个完善的、比较实用的专家系统需要花费5—10人年，周期长，造价高。其主要原因之一是缺乏构造专家系统所需的软件工具，使开发构造中大部分人力和时间耗费于重复已有劳动上面。为了提高系统研制速度，普及人工智能的应用，开发、普及、改进专家系统开发工具是当前人工智能的一个重要发展方向。专家系统创始人Feigenbaum认为，使用合适的软件工具可使建造专家系统的周期大大缩短。例如，以EMYCIN为工具，构造的拥有60多条规则的专家系统CLOT，仅由一位工程师和一位医学院的学生经过10多个小时的准备工作和近10小时的编辑、调试就完成了。

我们采用自己研制的专家系统开发工具PEST系统，生成专家系统模型的实践证明，使用工具系统建立实用专家系统的速度比手工建造时提高了5—7倍。

知识工程语言是帮助知识工程师建造专家系统的支撑环境。它的能力可由所表现的范例、结构、知识表示、推理机、实用设施和程序设计系统而导出。在复杂性和价值方面，它们接近于在设计、制造和工程中使用的CAD、CAM和CAE工具。好的工具将给知识工程师提供大量的辅助手段，使用工具系统来建造专家系统能够大量地节省人力、物力，使得专家系统开发人员能把大部分精力集中于少数几个问题上，这样将能提高建造的专家系统的质量，减少重复性工作，为专家系统的广泛应用提供良好的条件。

然而，对不同种类的应用，因为有不同的设计要求，不同类型的知识和专门的推理类型，因此需要不同的知识工程工具。自从1983年美国Intellicorp公司的专家系统开发工具KEE首先被商品化以来，目前已有一批不同类型的工具可用于建造许多领域的专家系统，本书所叙述的M-1、INSIGHT2、OPS5和GURU是国内外目前比较广泛应用的有代表性的专家系统开发工具。

知识工程语言的开发和使用，在一定程度上大大地缓和了有构造专家系统经验的人才供不应求的矛盾。提高了专家系统设计的效率、缩短了系统研制周期。

鉴于专家系统构造工具的重要性，以及专家系统研制者对它的极大关注，我们结合分析

研究国外专家系统工具和自己实际工作的经验，并参考和部分引用了文献中的有关内容，编写了本书，相信不仅将会使读者受到启迪而且对于开展该领域的研究也将是大有裨益的。

本书由陈世福(第1至7章)、袁峰(第8至10章)、潘金贵(第11至15章)、陈兆乾(第16至18章)和谢俊元(第19至20章)合作完成。并由陈世福和潘金贵进行了修改和统编。

在本书的编写过程中，陆庆文、谢琪等同志，以及研究生陈彬、陈树权、姚威力和王军等同学做了很多辅助工作。山东工业大学计算机系周澄华教授等对本书给予了大力支持。在此一并表示衷心的感谢。

限于编者水平和时间仓促，书中难免错误，敬请批评指正。

编写者 1988年2月
于南京大学计算机科学系

目 录

第一部分 引 论

第一章 专家系统引论..... 3

1.1 什么是专家系统..... 3

1.1.1 专家系统的历史 3

1.1.2 专家系统的特性 5

1.1.3 专家系统的构造者及其 工具..... 6

1.1.4 专家系统的优越性 7

1.2 如何组织专家系统10

1.2.1 知识的组织 10

1.2.2 知识表示 12

1.3 专家系统与传统程序 的区别.....13

1.3.1 专家系统的基本特点 13

1.3.2 专家系统存在问题 17

1.4 专家系统的知识表示17

1.4.1 使用规则的知识表示 17

1.4.2 使用语义网络的知识表示 22

1.4.3 使用框架的知识表示 24

1.5 专家系统的作用26

1.5.1 专家系统的分类和基本 活动..... 26

1.5.2 专家系统求解的类型 31

第二章 专家系统建造.....38

2.1 专家系统能够解决我的问 题吗.....38

2.1.1 什么情况下开发专家系 统是可能的 38

2.1.2 什么情况下开发专家系 统是合理的 39

2.1.3 什么情况下开发专家系 统是合适的 41

2.2 建造专家系统43

2.2.1 建造专家系统的任务 43

2.2.2 专家系统开发的阶段 45

2.3 知识获取46

2.3.1 知识获取过程 46

2.3.2 访问专家 49

2.4 专家系统建造实例51

2.4.1 问题 51

2.4.2 确定问题的特征 52

2.4.3 求解需要的概念 53

2.4.4 知识的形式化表示方法 56

2.4.5 原型系统的实现 57

2.4.6 验证规则 57

第三章 专家系统开发工具引论61

3.1 专家系统开发工具的特征	61
3.1.1 应用于专家系统的程序	
设计语言	62
3.1.2 知识工程语言	63
3.1.3 系统构造辅助工具	63
3.1.4 支撑设施	67
3.2 专家系统工具的开发过程	71
3.2.1 工具支撑的知识表达和	
程序设计方法	72
3.2.2 专家系统工具的开发阶段	75

3.3 知识工程语言示例	82
3.3.1 EMYCIN	82
3.3.2 EXPERT	85
3.3.3 OPS5	87
3.3.4 ROSIE	89
3.4 如何选择专家系统建造	
工具	91
3.4.1 选择工具需考虑的问题	92
3.4.2 评价专家系统建造工具	95
3.4.3 最佳开发工具未必就是	
最佳产品工具	96

第二部分 知识工程语言M.1及其应用

第四章 M.1概述	99
4.1 一般介绍	99
4.2 M.1的体系结构	99
4.3 操作原理	100
4.4 M.1的特征	101
4.4.1 知识系统开发特征	101
4.4.2 终端用户特征	102
4.4.3 技术特征	102
4.5 M.1应用领域	103
4.6 CM.1和M.1(2.1版)	
简介	103

第五章 M.1的知识表示	105
5.1 知识库的语法	105
5.2 项的语法	107
5.2.1 常量	107
5.2.2 变量	108
5.2.3 结构	109

第六章 M.1的命令和预定义项	113
6.1 M.1的命令	113
6.1.1 有关知识库的命令	113

6.1.2 有关缓存的命令	114
6.1.3 值的查找和启动咨询	116
6.1.4 彩色和调试控制	116
6.1.5 跟踪和记录命令	118
6.1.6 终端用户系统的命令	119
6.1.7 退出M.1	119
6.1.8 用户信息命令	119
6.1.9 命令一览表	120
6.2 M.1的预定义项	121
6.2.1 元事实	121
6.2.2 布尔联接符	125
6.2.3 算术命题	126
6.2.4 元命题	129

第七章 M.1的推理机	132
7.1 概述	132
7.2 进一步的考察	133
7.2.1 已知值	133
7.2.2 使用知识库项	133
7.2.3 事实	133
7.2.4 元事实	134
7.2.5 规则	134

7.2.6 测试规则的前提	135
7.3 可信度计算	136
7.3.1 其他证据与可信度的 增强	136
7.3.2 非确定前提和可信度的 减小	137
7.3.3 合取前提可信度计算	137
7.3.4 前提终止规则的引用	137
7.3.5 析取前提可信度计算	137
7.3.6 可信度与单值表达式	138
7.3.7 回溯	138
7.4 调节推理过程	138
7.4.1 初始数据	138
7.4.2 先决条件	139
7.4.3 whenfound	139
7.4.4 个数访问	139
7.4.5 无缓存	140

第八章 M.1与外部函数的接口

.....	141
8.1 概述	141
8.2 说明外部函数	141
8.3 编写外部函数	142
8.4 连接外部函数	147
8.5 调用外部函数	147

第九章 建立终端用户系统..... 149

9.1 概述	149
9.2 构造知识库	149
9.2.1 改变M.1的配置	149
9.2.2 知识库中加入解释	150
9.2.3 保护知识库	150
9.3 建立终端用户系统	150
9.4 建立终端用户系统示例	151

第十章 M.1系统的使用..... 153

10.1 M.1的保护设施	153
10.2 M.1的文件配置	153
10.3 在IBM PC上启动M.1	153
10.4 在IBM XT上启动M.1	154
10.4.1 从软盘上运行M.1	154
10.4.2 从硬盘上运行M.1	154
10.5 执行咨询	155
10.5.1 交互的层次	155
10.5.2 装入知识库	155
10.5.3 启动咨询	155
10.5.4 询问响应选择	156

第十一章 M.1的应用 159

11.1 酒品顾问	159
11.1.1 知识库概貌	159
11.1.2 酒品顾问系统	160
11.1.3 酒品顾问知识库	174
11.2 微型照相顾问	182
11.2.1 建立知识库	183
11.2.2 观察M.1的动作	183
11.2.3 在知识库中添加规则	184
11.2.4 在知识库中添加提问	184
11.2.5 处理 unknown 数据	185
11.3 交通工具顾问	186
11.4 带变量的酒品顾问Vine	190
11.4.1 Vine 中的变量、事实 和初始数据	191
11.4.2 Vine 运行实例	192
11.4.3 Vine 知识库	193

11.5 摄影顾问	198	11.5.3 摄影顾问的扩充	206
11.5.1 建立系统	198	11.6 小结	207
11.5.2 摄影顾问知识库	205		

第三部分 专家系统开发工具 INSIGHT2 及其应用

第十二章 INSIGHT2系统概述

.....	211
12.1 INSIGHT2的主要功能	211
12.2 INSIGHT2的体系结构	212

第十三章 INSIGHT2的知识表示和推理机制

.....	214
-------	-----

13.1 INSIGHT2的知识表示:

产生式规则与PRL	214
-----------------	-----

13.1.1 产生式规则	214
--------------------	-----

13.1.2 产生式规则语言PRL	215
-------------------------	-----

13.1.3 知识库结构	217
--------------------	-----

13.1.4 标题语句	219
-------------------	-----

13.1.5 THRESHOLD语句	219
--------------------------	-----

13.1.6 CONFIDENCE语句	219
---------------------------	-----

13.1.7 目标语句	220
-------------------	-----

13.1.8 产生式规则	222
--------------------	-----

13.1.9 PRL数据类型	223
----------------------	-----

13.1.10 提供附加信息	228
----------------------	-----

13.2 INSIGHT2的推理机

.....	232
-------	-----

13.2.1 目标选择	232
-------------------	-----

13.2.2 目标与规则	234
--------------------	-----

13.2.3 高级PRL概念	235
----------------------	-----

13.2.4 调用外部程序和多知识 库的连接	242
---------------------------------	-----

13.3 PRL源程序及其示例

.....	244
-------	-----

13.3.1 PRL源程序	244
---------------------	-----

13.3.2 一个PRL样本程序	244
------------------------	-----

13.4 PRL 编译程序	258
---------------------	-----

第十四章 INSIGHT2的使用

.....	259
-------	-----

14.1 INSIGHT2的运行环境

及使用入门	259
-------------	-----

14.2 菜单系统

14.2.1 主菜单	260
------------------	-----

14.2.2 编译知识库	261
--------------------	-----

14.2.3 运行知识库	263
--------------------	-----

14.2.4 标题显示	263
-------------------	-----

14.2.5 求助功能	264
-------------------	-----

14.2.6 简单事实询问	264
---------------------	-----

14.2.7 数值询问	265
-------------------	-----

14.2.8 对象属性值(OAV)询问	266
---------------------------	-----

14.2.9 信息显示	267
-------------------	-----

14.2.10 结论显示	268
--------------------	-----

14.3 报告功能及其使用

14.3.1 显示当前规则	269
---------------------	-----

14.3.2 显示结论	271
-------------------	-----

14.3.3 显示或编辑事实	272
----------------------	-----

14.3.4 显示推理路径	273
---------------------	-----

14.4 DBPAS 及其数据库

操作	274
----------	-----

14.4.1 DBPAS源程序	274
-----------------------	-----

14.4.2 DBPAS语言元素	275
------------------------	-----

14.4.3 DBPAS程序开发	279
------------------------	-----

14.4.4 DBPAS的数据库接口	279
--------------------------	-----

14.4.5 DBPAS和dBASE数据 库连接示例	283
-------------------------------------	-----

14.5 正文编辑程序及其使用	287
14.5.1 编辑菜单	287
14.5.2 光标移动命令	289
14.5.3 行编辑命令	289
14.5.4 块命令	290
14.6 数据库编辑程序及其使用	290
14.6.1 建立数据库	290
14.6.2 编辑数据库	293

14.7 外部程序调用和用户定义程序安装	294
14.7.1 外部程序调用	294
14.7.2 用户定义程序的安装	298

第十五章 INSIGHT2 的应用

举例	299
15.1 聚合物选择助理	299
15.2 货物装箱编排: 演示正向链的知识库	315
15.3 天气预报专家系统	319

第四部分 知识工程语言 OPS5 和 OPS5⁺ 及其应用

第十六章 知识工程语言 OPS5

	329
16.1 语言定义的数据类型	330
16.1.1 原始数据类型	330
16.1.2 复合数据类型	331
16.2 工作存储器	334
16.3 产生式存储器	336
16.3.1 条件元	336
16.3.2 OPS5 规则的左部	339
16.3.3 OPS5 规则的右部	339
16.4 OPS5 的推理机	347
16.4.1 匹配	347
16.4.2 选择规则策略	348
16.4.3 例子	348
16.5 初始化工作存储器技术	354
16.5.1 用一条规则初始化	354
16.5.2 参数化的初始化	354
16.5.3 用顶层命令初始化	356
16.6 程序的停止	356

16.6.1 清除冲突集	356
16.6.2 Halt 动作	357
16.7 OPS5 的其他特征	357
16.7.1 项和 $\uparrow$ 算符	357
16.7.2 LHS 项	357
16.7.3 RHS 动作和结果元	357
16.8 顶层命令	358
16.8.1 make	358
16.8.2 remove	358
16.8.3 openfile	359
16.8.4 closefile	359
16.8.5 default	359
16.8.6 call	359
16.8.7 run	359
16.8.8 back	359
16.8.9 strategy	360
16.8.10 watch	360
16.8.11 pbreak	360
16.8.12 excise	361
16.8.13 exit	361
16.8.14 cs	361
16.8.15 pm	361
16.8.16 matches	361
16.8.17 wm	362
16.8.18 ppwm	362
16.9 命令的错误	363

16.9.1	数据的语法和类型检查	363
16.9.2	规则的错误	365

第十七章 OPS5 的一个应用

例子——猴子与香蕉问题

焦问题	367
-----	-----

17.1	问题的描述	367
17.2	需求分析	368
17.3	对象和属性的识别	368
17.3.1	物理空间	368
17.3.2	物理对象	369
17.3.3	自行对象	370
17.4	动作识别	371
17.5	解决问题的策略和对象	373
17.6	问题的输入和输出	374
17.6.1	合法的工作存储器构造	375
17.6.2	简单的初始构造	375
17.6.3	初始化工作存储器的技巧	375
17.6.4	程序输出	381
17.7	规则识别	381
17.7.1	规则测试	383

17.7.2	目标类型“ON”	383
17.7.3	测试目标类型“ON”	391
17.7.4	目标类型“Holds”	393

17.8 判定序列与问题序列

.....	397
17.8.1 判定序列.....	398
17.8.2 问题序列.....	398

第十八章 OPS5⁺

18.1 OPS5语言的各种版本

	399
--	-----

18.2 OPS5⁺概述

18.2.1	编程方面的扩展和规定的具体化	399
18.2.2	OPS5 ⁺ 扩展的顶层命令	402
18.2.3	OPS5 ⁺ 与C语言的接口方法	406

18.3 用OPS5⁺开发产生式系统的步骤

18.3.1	产生式系统及其工作方式	407
18.3.2	OPS5开发产生式系统的步骤	409

第五部分 专家系统构筑工具GURU及其应用

第十九章 GURU 的基本特性

和功能

19.1	引言	415
19.2	基于规则的专家系统构筑工具	416
19.2.1	规则表达方式	416
19.2.2	推理方式	417
19.2.3	变量	417

19.2.4 GURU中的可信度

19.3 GURU专家系统的规则集

19.3.1	GURU主要子句的语法规则和使用方法	421
19.3.2	一个规则集的例子——商品推销专家系统	423

19.4 GURU 的实用命令

19.5 自然语言接口

19.5.1 词法分析阶段.....	428	20.2.2 专家系统的咨询.....	453
19.5.2 语法分析阶段.....	429	20.2.3 GURU演示程序的运行	
19.5.3 填写框架阶段.....	429		454
19.5.4 形式语言生成阶段.....	429	20.2.4 专家系统.....	454
19.5.5 Chat-GURU的自然		20.2.5 自然语言.....	456
语言接口.....	429	20.2.6 信息管理程序.....	457
19.5.6 自然语言会话实例.....	433		
第二十章 GURU 的使用及应		20.3 GURU装配故障诊断表	
用实例.....	438	和运行演示程序故障诊	
20.1 GURU的装配和启动		断表	457
.....	438		
20.1.1 GURU的装配.....	438	20.3.1 GURU装配故障诊断表	
20.1.2 GURU的启动.....	440		457
20.2 GURU专家系统菜单的		20.3.2 演示程序运行故障诊断	
特点.....	441	表.....	458
22.2.1 专家系统的构筑方法		20.4 GURU 实现的“农业顾	
.....	442	问”专家系统示例.....	458
参考文献	469		

第一部分 引 论

第一章 专家系统引论

1.1 什么是专家系统

1.1.1 专家系统的历史

在70年代初, 计算机革命导致了专家系统的诞生, 它是在计算机硬件发展的推动下出现的。当计算机硬件专家在开发微芯片(microchip)技术时, 那些设计和构造程序来控制计算机的软件专家们正在为软件领域的突破进行基础准备工作。但这种突破既不是借助于激光束发明一种新的信息编码的方法, 也不是借助于较小的、速度快的微芯片的开发。而是在一个称为人工智能的计算机科学的崭新领域中的概念性突破。

长期以来, AI科学家的目标一直是开发在某种意义上能思考的程序, 即开发一种必须用人的智能才能求解的计算机程序。专家系统正是为了恰如其分地定义这些程序的本质所作的20年探索的成果。图1.1展示了专家系统产生与发展的演变过程。

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, 尽管取得一些有趣的进展, 这样的策略并未产生任何突破。开发通用的问题求解程序是非常困难的, 而且最终证明是毫无结果的。一个单一程序能够处理的问题种类越多, 那么对每一个别问题所能做的就越少。

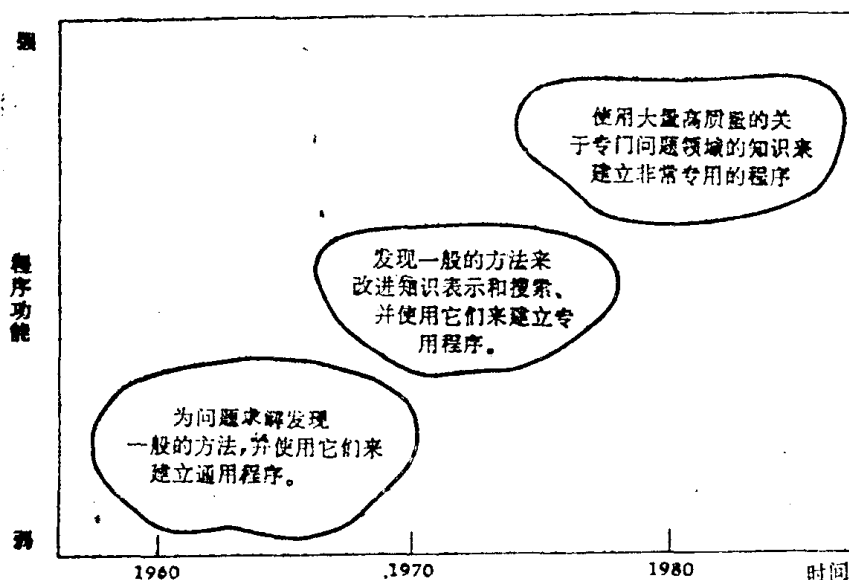


图1.1 AI研究的演变过程

AI科学家决心采用另外的方法来使计算机程序具有智能性。如果使整个程序具有通用性太困难, 那么他们就决心在较特别的问题上集中力量开发通用的方法或技术。所以在70年

代，他们便集中注意力去研究知识表达和搜索等技术。

知识表达——怎样系统地陈述问题并使它们易于求解。

搜索——怎样聪明地控制解的查找，使得它不致于使用太多的时间和花费过多的计算机存储空间。这种策略也取得了一些成绩，然而却并没有带来突破。

只是到了70年代后期AI科学家才开始认识到一些事情的重要性。程序的问题求解能力不仅取决于它使用的形式化体系和推理模式，而且取决于它所拥有的知识。从而产生了概念性的突破，而且可以十分简单地描述如下：

要使一个程序具有智能，必须给它提供大量有关问题领域的高质量专门知识。

这种认识导致了专用计算机程序的开发，这种程序能在某些狭窄的问题领域具有与专家同等程度的解题能力。所以人们称其为**专家系统(expert system)**。从此，开创了一个新的研究领域。

专家系统是一种计算机程序，用于从事某种特定的、难度较高的专业工作。专家系统的专业水平能够达到、甚至超过人类专家的水平。由于主要是依靠大量知识来发挥专家系统的功能，因此有时也将其称为知识库系统。另外，专家系统常被用于帮助专家工作，因此又称为智能助手。

构造专家系统的过程通常称为**知识工程**。知识工程又称应用人工智能，即设计和建造专家系统及其他知识库程序的技术。这一过程通常包括被称为知识工程师(knowledge engineer)的专家系统构造者和在某一问题领域中一个或多个人类专家之间的某种形式的合作。知识工程师从人类专家那里“抽取”他们求解问题的过程、策略和一些经验规则，并把这些知识加入专家系统中，如图1.2所示。

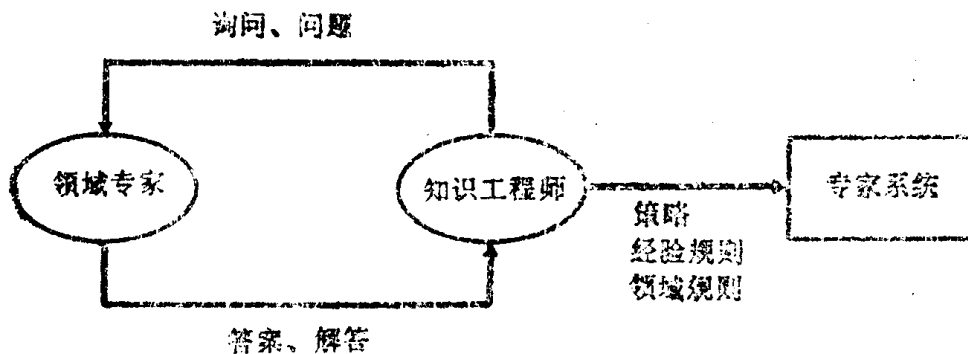


图 1.2 知识工程：把专家的知识转移到计算机程序中

这样产生的求解问题的计算机程序与人类专家极其相似。

Pauly E. Johnson是多年从事人类专家行为研究的科学家，他曾十分准确地描述了我们使用的专家这个术语的含义：

“专家是这样的一类人，因为他们经过了训练和积累了经验，从而能够做一些其他人不能做的事。专家不仅仅技艺娴熟，而且工作稳妥高效。他们拥有大量的知识，而且具有将他们的所知道的知识运用到具体问题和任务中的诀窍和避开失误的方法。他们擅长于从许多不相关的信息中发现本质问题。同样他们也擅长把所遇到的问题归结为已熟悉问题类型的实例。专家行为的基础是称为专业知识的有效的知识体。因此，有理由这样假设：当我们需要表达这些使专家能成为专家的专门知识时，我们必须求助于这些专家。”