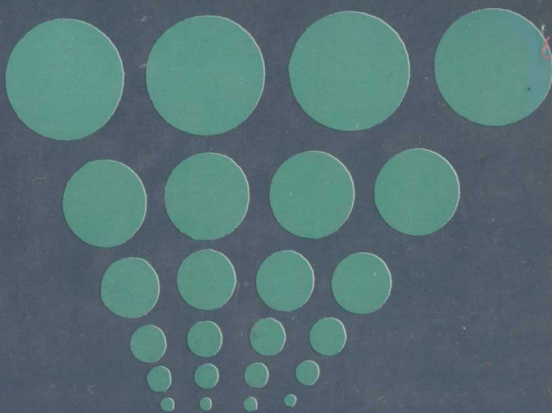


陈 勤 著



# 工程智能辅助决策



大连理工大学出版社

# 工程智能辅助决策

陈 勤 著

大连理工大学出版社

(辽)新登字 16 号

1

## 内 容 提 要

本书以大规模复杂决策问题求解的 2+3 模型为基本框架,全面系统地讨论了工程智能辅助决策的基本原理和有关领域的最新进展。

全书共分五篇十章,内容包括 2+3 模型、模式运算、符号运算、数据运算、有代表性的大型应用系统和系统建造工具。

本书可作为高等学校有关工程专业研究生学习工程智能辅助决策课程的教材,供其它专业的教师和研究生参考,也可供从事工程智能辅助决策研究的科研人员参考。

## 工程智能辅助决策

Gongcheng Zhineng Fuzhu Juece

陈 勤 著

大连理工大学出版社出版发行 (邮政编码: 116024)

大连理工大学印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 6.125 字数: 160 千字

1993 年 2 月第 1 版

1993 年 2 月第 1 次印刷

印数: 1-1400 册

责任编辑: 史振声

封面设计: 羊 戈

责任校对: 玉 洁

ISBN 7-5611-0712-9/TP·40 定价: 2.17 元

## 前 言

许多工程决策问题,涉及到巨大的人力、物力,对国民经济有重要影响。为了作出好的决策,应该最大限度地利用有关专家的知识。正是这种实际需要,而不是人工智能科学的重大突破,促成了当前世界上研究智能辅助决策系统的热潮。

本书的主题是工程中的智能辅助决策。撰写这本书有两个目标:第一,介绍工程智能辅助决策系统研究的最新进展和动向;第二,为高等学校有关工程专业的研究生学习工程智能辅助决策课程提供一本合适的教科书。

当前工程智能辅助决策研究的前沿有:开放的复杂信息巨系统及其从定性到定量的综合集成技术,形象思维和定性的物理模型。相应地,本书介绍了作者提出的求解大规模复杂决策问题的2+3模型,并以这一模型为基本框架,力图从形象思维与逻辑思维的结合上组织材料,使读者从与现有的专著和教科书不同的角度来了解这一领域的研究;介绍了人工神经网络的主要模型及其在模拟人类形象思维方面的应用成果和思路,读者可以从这些材料出发很快进入感兴趣的研究课题,介绍了有代表性的定性物理方法及其应用,这些内容被认为是下一代专家系统的基础。

作为一本教科书,本书同现有的教科书相比,有三个显著的特点:第一,系统地介绍研究的最新进展。第二,强调工程特点,而不是仅仅介绍一般的原理。为此设了第一章,还特别介绍了中国学者在工程智能辅助决策研究方面的工作。第三,强调理论联系实际。首先,解剖了著名的高层建筑初步结构设计专家系统HI-RISE,这有利于深化所介绍的原理。其次,结合作者多年从事工程智能辅助决策研究的体验,有重点地介绍了建造系统的工具。所给出的程序

段都是从作者开发的应用系统中摘取出来的,可以作为读者开展研究工作的工具。

本书是作者在大连理工大学为研究生讲授《工程智能辅助决策》课程的教材。它可供从事工程智能辅助决策研究的科研人员参考,也可作为高等学校有关工程专业研究生学习工程智能辅助决策课程的教材,供其它专业的教师和研究生参考。

全书共分五篇十章,包括:2+3模型、模式运算、符号运算、数据运算、有代表性的大型应用系统和系统建造工具。此外,附录收入了本书中使用的部分人工智能技术术语。

由于工程智能辅助决策是一个正在迅速发展的研究领域,本书中所介绍的内容不可能全是成熟的。因此,诚恳地希望读者能提出意见。

在1987—1991年期间,本人的研究工作得到国家自然科学基金的资助,这导致了本书的诞生。我要特别感谢程耿东教授和钟万勰教授,他们指导了我的研究工作并在其它方面给予了很大的支持。

陈 勤

1991年9月

# 目 录

<b>第一章 工程智能辅助决策系统研究</b> .....	1
§ 1 引言 .....	1
§ 2 专家系统 .....	2
§ 2.1 经验:定义、优势和成本 .....	2
§ 2.2 专家系统的成份 .....	5
§ 2.3 建造专家系统 .....	7
§ 2.4 语言和工具 .....	8
§ 2.5 工程决策的内容.....	10
§ 2.6 专家系统技术在设计中的实现.....	13
§ 2.7 智能化设计决策系统展望.....	14
§ 3 设计决策研究.....	15
§ 4 中国工程智能辅助决策系统计划.....	18

## 第一篇 工程决策的基本模型

<b>第二章 2+3模型及其分形性质</b> .....	21
§ 1 引言.....	21
§ 2 工程决策问题的提法.....	23
§ 3 现有模型及其局限性.....	25
§ 4 2+3模型.....	26
§ 4.1 基本2+3模型.....	26
§ 4.2 分形2+3模型.....	31
§ 5 案例研究.....	34
§ 6 讨论与结论.....	35

## 第二篇 模式运算

<b>第三章 基于模糊集合论的模式识别</b> .....	39
§ 1 引言 .....	39
§ 2 模糊集合论基础 .....	41
§ 3 模糊集合论应用 .....	46
§ 4 带有非线性权函数的模糊模式识别算法 .....	51
<b>第四章 基于人工神经网络的模式识别</b> .....	55
§ 1 引言 .....	55
§ 2 人工神经网络模型 .....	58
§ 3 人工神经网络应用 .....	68
§ 4 基于人工神经网络的模式识别算法 .....	71
§ 5 结论 .....	73

## 第三篇 符号运算

<b>第五章 产生式系统</b> .....	75
§ 1 知识的产生式表示 .....	75
§ 2 产生式系统原理 .....	78
§ 3 产生式系统应用 .....	85
§ 4 结论 .....	88
<b>第六章 搜索技术</b> .....	89
§ 1 一般产生式系统的搜索技术 .....	89
§ 1.1 回溯策略 .....	89
§ 1.2 图搜索策略 .....	92
§ 1.3 无信息的图搜索过程 .....	96
§ 1.4 启发式的图搜索过程 .....	96
§ 2 可分解产生式系统的搜索技术 .....	99
§ 2.1 与或图的搜索 .....	99
§ 2.2 启发式的与或图搜索过程 .....	100

<b>第七章 规划技术</b> .....	104
§ 1 规划与问题求解 .....	104
§ 2 基本规划 .....	107
§ 3 分层规划 .....	112

#### 第四篇 数据运算

<b>第八章 定性物理</b> .....	119
§ 1 概论 .....	119
§ 2 基于合流的方法 .....	122
§ 2.1 引言 .....	123
§ 2.2 朴素物理 .....	123
§ 2.3 模型化 .....	124
§ 3 量纲分析在定性物理中的应用 .....	129
§ 3.1 引言 .....	129
§ 3.2 量纲分析 .....	130
§ 3.3 定性物理 .....	131
§ 4 结论 .....	134

#### 第五篇 实际系统和工具

<b>第九章 HI-RISE: 一个初步结构设计专家系统</b> .....	136
§ 1 引言 .....	136
§ 2 建筑的结构设计 .....	136
§ 3 HI-RISE 的工作范围 .....	137
§ 4 设计知识的表示 .....	139
§ 4.1 设计任务分解 .....	139
§ 4.2 设计描述等级结构 .....	144
§ 5 实现 .....	148
§ 6 结论 .....	149
<b>第十章 系统建造工具</b> .....	150



§1	工具概论 .....	150
§2	PASCAL 在系统建造中的应用 .....	156
§ 2.1	MS-PASCAL .....	156
§ 2.2	一个小型专家系统 .....	159
§ 2.3	讨论和结论 .....	167
§3	PROLOG 语言 .....	168
§ 3.1	Turbo PROLOG .....	169
§ 3.1.1	Turbo PROLOG 程序结构 .....	169
§ 3.1.2	PROLOG 程序设计 .....	172
§ 3.2	小型分类专家系统 .....	173
附录	人工智能技术术语汇编 .....	177
参考文献	.....	186

# 第一章 工程智能辅助决策系统研究

专家系统,又称基于知识的系统,是智能辅助决策系统的核心。本章从工程决策,特别是工程设计的角度向读者介绍专家系统。

## §1 引言

在过去十年里,在许多工程技术领域出现了一种以人工智能(AI)研究为基础的新的信息处理技术,这就是专家系统。这种技术涉及从人类专家那里获取知识并将其表示成知识库的过程。这个知识库可在以后用于模拟专家求解困难问题的过程。构造知识库和对其编码的方式应当使系统具有解释自身行为的能力,即在得到问题的一个解答时向用户说明为什么它得到该解答的能力。专家系统也可以在教学过程中使用,使新手有机会学习专家处理问题的方式。

专家系统技术的巨大吸引力不是由于它的现实表现,而是在于它的巨大潜力。事实上,专家系统技术迄今取得的实际成就是十分有限的,本书第二章将详细对此进行讨论。尽管如此,专家系统能够释放人类专家在求解困难问题和其它富于创造性的活动中积累起来的经验,扩展应用经验的范围。同人类专家相比,一个计算机系统更容易被复制和携带到需要它的场所去。已经开发了许多有用的专家系统,其应用领域包括:医学、计算机制造和销售、探矿、电话系统、电站、机车、飞机,等等。

专家系统技术能够以许多不同的方式辅助工程中的决策过程。在下一节,将首先介绍专家系统和描述一组可用的工具,然后

来分析决策过程的内容及合适的工具。

## 第 2 章 专家系统

术语“专家系统”指一个计算机程序,它基本上是一组启发式规则(单凭经验的方法)和详细的领域事实,它们在求解某一技术领域的特定问题时已被证明是有用的。专家系统是人工智能科学的应用研究领域。多年来,人工智能(AI)科学家们一直在致力于使用启发式的问题求解研究、关于世界的知识的符号表示构造、自然语言通讯的处理和基于体验的学习。经验往往被定义为这样的知识实体,它是通过对一类特定的问题经历了多年体验而获取的。专家系统的标志之一是,它的建造是通过两类不同专业的人员的交互实现的:一位领域专家和一位知识工程师。前者是某一技术领域中的专家,后者是专长于分析专家的问题求解过程和将其在一个计算机系统中编码的 AI 专家。最好的人类经验是几年、甚至是几十年实际体验的结果,最好的专家系统是那些通过知识工程师与人类专家密切联系的系统。

### § 2.1 经验:定义、优势和成本

专家系统有一些明确的特征。其中最重要的特征——准确、迅速、较低的信息采集成本/效益比。但是专家系统还有其它一些特征,其中许多来自对人类专家类似能力的模拟:

●解释和判断答案的能力,它或者以理论为根据,或者以相关的启发式规则为根据,或者以过去的案例历史为根据;

●推理过程与人类专家的推理的一致性(系统不是一个由难懂的数学公式定义的黑箱);

●处理不确定或不完全信息的能力;

●总结和指出问题态势特征的能力,这些特征往往是通向答案的标志;

●将知识用词语或符号进行编码使用的能力,它们大多可通过自然语言实现通讯;

●通过添加新的知识片断逐渐增长的能力,这通常发生在求解一个生疏问题的环境中。

尽管专家系统可以扮演许多人类专家的角色,它却以作为咨询者最为有效。此外,以上特征还包括通过对话方式改进系统和将系统作为导师或训练者来使用的可能性。

为什么人们要耗费金钱来建造专家系统呢?主要动机是由于问题领域固有的复杂性和优秀人类专家的缺少。建造专家系统能够促进对一个领域的经验知识进行提炼整理以形成系统化的知识实体,从而使得该领域得以共享有价值的专家知识。有些问题领域对应着对人的生命或健康有威胁的环境,例如核反应堆的监控,专家系统的使用可以降低问题求解的风险。重要专家的退休往往会严重影响企业的技术实力,这个事实激发了产业界开发专家系统的兴趣。专家系统还是汇集一批专家的经验的好办法,这样形成的专家系统要比相应的一批独立的专家系统的效果更好。对于全自动化系统,当其出现失效或其它紧急情况时往往要求人的迅速、准确的干预,这可以用专家系统来完成。

专家系统技术对哪些问题比较适合呢?粗略地说,就是知识密集型的问题求解过程。在这种过程中,人类专家的良好表现得益于多年体验中积累起来的经验知识,而这种知识还没有上升到理论的层次。这样的领域往往有复杂的事实结构,有容量大且以特殊方式组织的特定信息项。一般没有解决困难问题的现成算法,领域的形式化程度很低。没有通用的问题求解策略,一切依赖于问题情形的特殊细节。问题本身的许多方面需要在问题求解期间确定;往往要在一个很大的可能读入数据集合中进行选择。这种选择的代价往往是很大的,需要专家对此作出权衡。

专家系统具有的巨大潜力使得投入巨资来建造它是合理的。能够更可靠、更一致地得到决策;能够得到作为副产品的对于解答

的解释以消除用户的疑虑,有助于人机之间的友好合作;能够对领域知识标准化、形式化;能够以咨询方式很好地工作,甚至在某些场合比人类专家更为有效;能够作为好的培训者进行工作,使用户通过演示、交互、解释等方式学习专家处理问题的策略;可以容易地扩展,以适应问题领域的演变。此外,专家系统常常实现在交互式的、分散式的环境中,便于利用成本效益很好的个人计算机资源。

目前有四个主要领域可以认为是适合于应用专家系统技术的,如表 1-1 所示。

表 1-1 专家系统的应用领域

领域	关键特征	例子
诊断和修理;复杂的 依赖于数据的选择和解释	候选方案的固定集合; 问题—答案对话; 不同的权衡	医学诊断
事件驱动或数据驱动 过程;详细的预先 说明的规划	难懂的细节; 复杂的、依赖于 数据的次序	计算机系统 配置
组织和机制的 模型化和仿真	陈述性知识的表示和 推理技术	管理系统
设计与规划; 产生性的、目标制导 问题求解	候选方案的无界空间; 多专家的合作	分子遗传学

总结以上提到的要点,有必要强调:一个恰当的专家系统必须对人类专家的知识进行编码。这种知识远远超越基本事实,已经在多年的频繁实际使用中组织成“编译”。事实上,一个新手总是无法跟上一位专家的思维步骤,原因是专家的再组织和再编译过程进行得非常快。

## § 2.2 专家系统的成份

刻划专家系统的关键成份示于图 1-1 中。

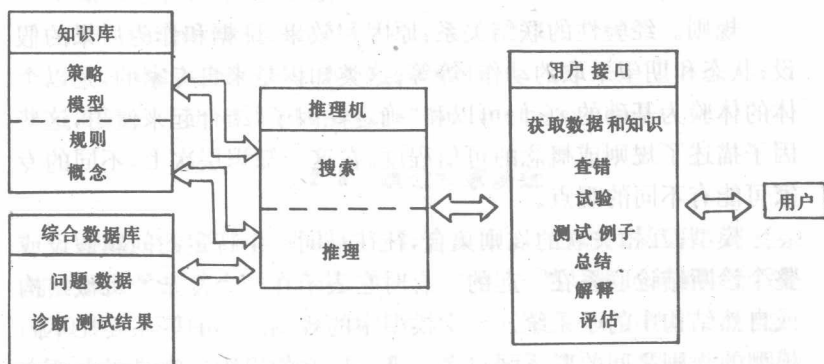


图 1-1 专家系统的成份

图中的用户接口对应着一组功能:知识获取、对知识库查错和做试验、测试例子、产生一组结论、解释得出结论的推理过程(或是系统提出的某个问题的推理过程)和评估系统的表现(包括解答对于特定数据项存在与否的灵敏度)。主要的信息处理机位于图 1-1 的中央,包括搜索和推理两个部分。它在知识库中搜索可用的知识,并在当前问题数据的基础上进行推理。在问题求解过程的任何点上,搜索机构在知识库中选择试图应用的最重要的部分。它可以使用一般的知识库规则(例如时序优先),也可以使用用户指定的策略规划(有时称为元知识)。推理机构评估单独的规则,联结知识库中的概念并加入到综合数据库中去。综合数据库是当前问题数据的仓库,这些数据就是关于问题的解答和诊断测试的结果。知识库是领域相关的启发式的集合,它被认为有四个层次,每一层次都是由较低一级层次的成员建成的:

概念。领域对象的陈述性表示,既有抽象的类又有具体的实例;其复杂的相关性可以在构造相似实体的任务中得到表达和使用。通常可以从教科书中获得这类知识,它们一般包括了问题领域的基本术语。

规则。经验性的联结关系:原因和效果;证据和作为后果的假设;状态和期望采取的动作;等等。这类知识是来自专家的,是以个体的体验为基础的。它们可以和“确定性因子”结合起来使用,这些因子描述了规则或概念的可信程度。在这一知识层次上,不同的专家可能有不同的观点。

模型。互相关联的规则集合,往往是同一个特定的问题假设或整个诊断结论联系在一起。有时它表示在一个复杂的机械结构或自然结构中的子系统。一个模型中的规则之间的联系要比不同模型的规则之间的联系强得多。这一层次的组织通常是用上下文来实现的。

策略。帮助使用数据库其余部分的规则和过程,例如当几个同等可能的规则应用到同一个问题状态时引导搜索和消解冲突。

专家系统的这些成份可以用一个汽车故障诊断的例子加以说明。

概念包括如下对象:制动器(进一步可分为盘状的或鼓状的),主汽缸和制动线路。这些概念包含关于分类的信息(如制动器类型),和关于零件拓扑连接的知识。例如,制动线路与主汽缸相连的物理结构描述和主汽缸控制线路中的压力的功能性描述。

启发式规则是可观察的症状与可能的原因之间的诊断性联系,有如下形式:

```
IF there is poor gas mileage,  
THEN (LS=10.0, LN=0.1) probable cause is  
    faulty carburetor adjustment.
```

在这条规则中,“LS”表示“充分性测度”,是“如果”部分对“那么”部分支持程度的度量;“LN”表示“必要性测度”,是“那么”部分对

“如果”部分要求程度的度量。

目前领域中的模型是汽车的一个子系统：发动机、燃料系统、冷却系统、制动系统、传动装置和电气系统。

策略包括以下的元规则

IF car performs poorly

and is less than three years old;

THEN check fuel system before engine system.

### § 2.3 建造专家系统

建造专家系统涉及建立一个知识库，应当按照从简单到复杂的步骤分阶段完成。就是说，首先建立概念，然后形成规则，最后是组织模型和策略。在第一阶段应使用少量案例，以实现在一些典型问题上期望的系统行为。通过测试这些案例，知识工程师可以很快建立一个初始的(极不完全的)规则集合和一个完全的模型组织。当这些初步内容被实现并得到领域专家认同以后，填充细节的工作就可以着手进行了。这主要是规则的获取，即建造专家系统的第二阶段。这一阶段的进展增强了系统覆盖领域问题的能力；同时填充了知识库的其它方面，它们是高级的用户—系统交互所必需的。

在规则建造任务完成以后，下一个任务是现场评估。同时，知识工程师转向扩充知识源的工作。例如在某些领域，有一个历史性的数据库可能是有用的。这有助于区分在诊断测试中看起来类似的一些结果。在某些领域中可能需要的另一种知识源是背景理论，一种“较深”的领域知识。这些非规则的知识源并不总是必须的。实际上，许多领域可以由纯粹的经验规则知识库加以模型化。如果决定加入其它非规则知识源，最好首先建立一个好的经验规则知识库，因为规则常常是最容易从人类专家那里抽取并进行编码的。

迄今为止建造专家系统的经验指出，这一行动的第一阶段大约需要花费6个人一月到1个人一年时间。通常在项目开始后的数月之内，就能构造和演示一个有限的工作原型，以允许管理者或



研究资助者对于完成后的系统有一个早期的了解。随着系统逐渐扩展和精化以覆盖越来越多的领域问题,第二阶段大约需要花费2—5个人年。在这一阶段,严重的问题是保持获取专家知识的努力,这常常要求持续地(往往是不断增长地)承担这一项目的管理义务。另一个问题是合适的专家人选:他们不应由于系统包含他们的知识而感受到威胁;相反,他们必须有将自己的经验保存下来和机械化的强烈动机。这种动机可能来自减小求解常规问题工作量的愿望,或者是在退休后留下一份精神财富的愿望。因此,一个专家系统的成功是技术的、管理的和社会学的成功的组合。

## § 2.4 语言和工具

有几种建造专家系统的途径。可以使用传统的编程方法,采用一种适合于 AI 的程序设计语言: LISP, OPS5, PROLOG, Smalltalk, 等等。甚至常规的面向过程的程序设计语言,如 PASCAL、C、FORTRAN、BASIC,也可以用于建造专家系统。为了表示和处理的方便,往往需要将编程技术同基于框架的系统结合起来。基于框架的技术是一种表示陈述性事实(概念,分类对象和语义关系)的语言形式机制。面向对象的编程也开始应用在工程领域。80年代中期以来开发的一些工具允许用户可以应用较高层次的方法来建造专家系统,但是还不能完全脱离编程技巧。有些工具组合了以上提到的人工智能语言的各种特征,提供了集成化的知识工程环境。例如,ART、Knowledge Craft 和 KEE。这些工具对于 AI 专业人员来说是高效的,但是对于一般研究者还不够方便。为此开发了一些针对特殊问题类型的工具,其特点是无需编程即可建立知识库。现在已经有了在个人计算机上运行的小型工具。这些工具有一个共同的名称,这就是壳。术语“壳”意味着:它们原先是一些特定领域的专家系统,其原有的知识库已被删除,仅仅留下一个能够执行推理机、用户接口和知识库管理系统功能的外壳。注意,外壳是相对内核而言的,专家系统的内核当然是领域知识。