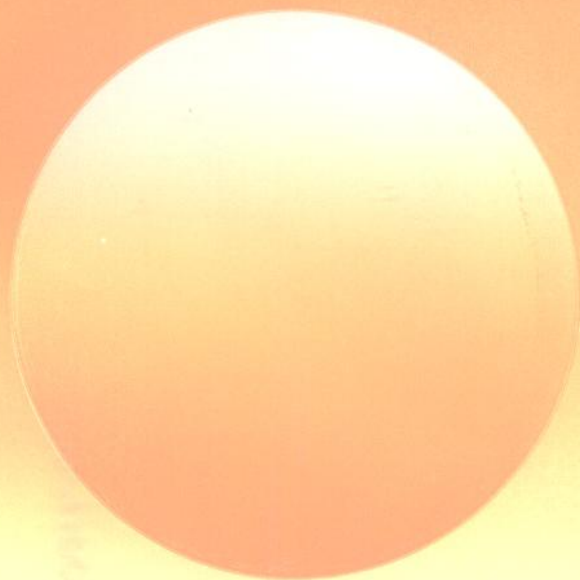


● 研 究 生 用 书 ●

FUZZY EXPERT SYSTEM

华中理工大学出版社



李 凡

模糊专家系统

(鄂)新登字第 10 号

图书在版编目(CIP)数据

模糊专家系统/李凡

武汉:华中理工大学出版社, 1995.

ISBN 7-5609-1093-9

I. 模...

II. 李...

III. 人工智能-专家系统-模糊逻辑

N. ①TP319 ②TP18

模糊专家系统

李 凡

责任编辑:易秋明

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山 邮编:430074)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社印刷厂印刷

*

开本:850×1168 1/32 印张:9 插页:2 字数:210 000

1995 年 6 月第 1 版 1995 年 6 月第 1 次印刷

印数:1-2 000

ISBN 7-5609-1093-9/TP·137

定价:5.40 元



26597 / 13
内 容 简 介

本书主要介绍第二代专家系统——模糊专家系统的基本概念和原理。全书共分九章,第一章叙述了模糊专家系统的基本概念以及它与传统专家系统的区别,第二章和第三章给出了模糊数的基本处理方法以及 T -算子的用途,这是全书讨论模糊专家系统的理论基础。第四章至第九章分别讨论了模糊数据的综合处理,规则匹配的各种计算方法,规则或结论的组合,以及模糊蕴含算子与选言推理,这些章节的内容可以看作是前三章所讨论的理论的应用。

本书可作为计算机科学系、自动控制系、信息工程系等高年级学生、研究生的教材或参考书,也可供从事人工智能和知识工程研究的科技工作者参考。

ABSTRACT

This book introduces the basic concepts and principles of the second generation expert systems—the fuzzy expert systems. The book includes nine chapters, chapter 1 describes the basic concepts of the fuzzy expert systems and the differences between the fuzzy expert systems and the traditional expert systems; chapters 2 to 3 supply the basic processing methods of fuzzy numbers and the applications of T -operators, which are the theoretical foundation on which the fuzzy expert systems are discussed; chapters 4 to 9 discuss the integrative processing of the fuzzy data, the computational methods of various rule matches, the combinations of rules or conclusions, the fuzzy implication operators and disjunctive syllogism. The contents of the last five chapters may be regarded as the application of the theories discussed in the first three chapters.

The book can serve as a textbook or reference for graduates or senior undergraduates whose major is Computer science, Automatic control, Information engineering and/or other relevant fields. It can also be consulted by researchers in artificial intelligence and knowledge engineering.

43168

“研究生用书”总序

研究生教材建设是提高研究生教学质量的重要环节,是具有战略性的基本建设。各门课程必须有高质量的教材,才能使学生学习掌握各门学科的坚实的基础理论和系统的专门知识,为从事科学研究工作或独立担负专门技术工作打下良好的基础。

我校各专业自 1978 年招收研究生以来,组织了一批学术水平较高,教学经验丰富的教师,先后编写了公共课、学位课所需的多种教材和教学用书。有的教材和教学用书已正式出版发行,更多则采用讲义的形式逐年印发。这些讲义经过任课教师多年教学实践,不断修改、补充、完善,已达到出书的要求。因此,我校决定出版“研究生用书”,以满足本校各专业研究生教学需要,并与校外单位交流,征求有关专家学者和读者的意见,以促进我校研究生教材建设工作,提高教学质量。

“研究生用书”以公共课和若干门学位课教材为主,还有教学参考书和学术专著,涉及的面较广,数量较多,准备在今后数年内分批出版。编写“研究生用书”总的要求是从研究生的教学需要出发,根据各门课程在教学过程中的地位和作用,在内容上求新、求深、求精,每本教材均应包括本门课程的基本内容,使学生能掌握必需的基础理论和专门知识;学位课教材还应接触该学科的发展前沿,反映国内外的最新研究成果,以适应目前科学技术知识更新很快的形势;学术专著则应充分反映作者的科

研硕果和学术水平,阐述自己的学术见解。在结构和阐述方法上,应条理清楚,论证严谨,文字简炼,符合人们的认识规律。总之,要力求使“研究生用书”具有科学性、系统性和先进性。

我们的主观愿望虽然希望“研究生用书”的质量尽可能高一些,但由于研究生的培养工作为时尚短,水平和经验都不够,其中缺点、错误在所难免,尚望校内外专家学者及读者不吝指教,我们将非常感谢。

华中理工大学研究生院院长

陳 珽 黃樹槐

1989. 11.

写在 1995 年

在今天,国家之间的竞争是国家综合实力的竞争,国家综合实力的竞争关键是经济实力的竞争,而经济实力的竞争关键又在于科技(特别是高科技)的竞争,科技(特别是高科技)的竞争归根结底是人才(特别是高层次人才)的竞争,而人才(特别是高层次人才)的竞争基础又在于教育。“百年大计,教育为本;国家兴亡,人才为基。”十六个字、四句话,确是极其深刻的论断。

显然,作为高层次人才培养的研究生教育就在一个国家的方方面面的工作中,占有十分重要的战略地位。可以说,没有研究生教育,就没有伟威雄壮的科技局面,就没有国家的强大实力,就没有国家在国际上的位置,就会挨打,就会受压,就会被淘汰。

“工欲善其事,必先利其器。”教学用书是教学的重要基本工具与条件。这是所有从事教育的专家所熟知的事实。所以,正如许多专家所知,也正是原来的《“研究生用书”总序》中所指出,研究生教材建设是保证与提高研究生教学质量的重要环节,是一项具有战略性的基本建设。没有研究生的质量,就没有研究生教育的一切。

我校从 1978 年招收研究生以来,即着力从事于研究生教材与教学用书的建设。积十多年建设与实践的经验,我校从 1989 年起,正式分批出版“研究生用书”。第一任

研究生院院长陈 珽教授就为之写了《“研究生用书”总序》，表达了我校编写这套用书的指导思想与具体要求，“要力求‘研究生用书’具备科学性、系统性、先进性”。第二任研究生院长，也就是当时我校的校长黄树槐教授完全赞同这一指导思想与具体要求，从多方面对这套用书加以关心与支持。

我是十分支持出版“研究生用书”的。早在1988年我在为列入这套书中的第一本，即《机械工程测试·信息·信号分析》写“代序”时就提出：一个研究生应该博览群书，博采百家，思路开阔，有所创见。但这不等于他在一切方面均能如此，有所不为才能有所为。如果一个研究生的主要兴趣与工作不在“这一特定方面”，他也可以选择一本有关的书作为了解与学习这方面专业知识的参考；如果一个研究生的主要兴趣在“这一特定方面”，他更应选择一本有关的书作为主要学习用书，寻觅主要学习线索，并缘此展开，博览群书。这就是我赞成成为研究生编写系列教学用书的原因。

目前，这套用书已出版了6批共30种，初步形成规模，逐渐为更多读者所认可。在已出版的书中，有8种分获国家级、部省级图书奖，有13种一再重印，久销不衰，有的印刷总数已近万册。采用此套书的一些兄弟院校教师纷纷来信，赞誉此书为研究生培养与学科建设作出了贡献，解决了他们的“燃眉之急”。我们感谢这些赞誉与鼓励，并将这些作为对我们的鞭策与鼓励，“衷心藏之，何日忘之？！”

现在，正是江南初春，“最是一年春好处”。华工园内，

红梅怒放，迎春盛开，柳枝抽绿，梧叶含苞，松柏青翠，樟桂换新，如同我们的国家正在迅猛发展，欣欣向荣一样，一派盎然生机。尽管春天还有乍寒时候，我们国家在前进中还有种种困难与险阻，有的还很严峻，但是，潮流是不可阻挡的，春意会越来越浓，国家发展会越来越好。我们教师所编的、所著的、所编著的这套教学用书，也会在解决前进中的种种问题中继续发展。然而，我们十分明白，这套书尽管饱含了我们教师的辛勤的长期的教学与科研工作的劳动结晶，作为教学用书百花园中的一丛鲜花正在怒放，然而总会有这种或那种的不妥、错误与不足，我衷心希望在这美好的春日，广大的专家与读者，不吝拔冗相助，对这套教学用书提出批评建议，予以指教启迪，为这丛鲜花除害灭病，抗风防寒，以进一步提高质量，提高水平，更上一层楼，我们不胜感激。我们深知，“一个篱笆三个桩”，没有专家的指导与支持，没有读者的关心与帮助，也就没有这套教学用书的今天。

诗云：“嘤其鸣矣，求其友声。”这是我们的心声。

中國科學院院士
華中理工大學校長
兼研究生院院長

楊叔子

于華工園內

1995年3月7日

前 言

近 20 多年来,专家系统一直是人工智能研究中最活跃和最富有成果的一个分支,它以其在求解问题时能够推导出专家级的解的独有特点,使人工智能的研究从实验室进入到人类社会的方方面面,国内外的许多专家系统已经在工业、医疗、交通、军事、经济和管理等领域取得了巨大的经济效益和社会效益,从而吸引了大量的计算机专家来从事这一领域的理论研究和应用开发,还有许多掌握了计算机技术的科技人员也打算或正在研制和开发本领域的专家系统。随着专家系统技术的深入发展,必将会为我们认识人类的思维机制而作出新的贡献。

目前,专家系统技术已经从第一代专家系统即传统的专家系统进入到第二代专家系统——模糊专家系统。所谓模糊专家系统,是指在专家系统中使用模糊集和模糊逻辑来表示知识和处理知识,这就使得专家系统能够以更贴近人类的思维形式来求解问题,当然,随之而来的将会出现许多新的、在传统的专家系统中我们没有遇到的问题,这正是本书所要讨论的内容。

全书共分九章,第一章叙述了模糊专家系统的基本概念以及它与传统专家系统的区别,第二章和第三章给出了模糊数的基本处理方法以及 T -算子的用途,这是全书讨论模糊专家系统的理论基础。第四章至第九章分别讨论了模糊数据的综合处理,规则匹配的各种计算方法,规则或结论的组合,以及模糊蕴含算子与选言推理,这些章节的内容可以看作是前三章所讨论的理论的应用。

模糊专家系统与传统的专家系统相比,其最大的不同之处主要在推理机制部分,而就其系统构成和设计方法而言,两者大体上是相同的,因而可借鉴传统专家系统的设计方法来研制和开发模糊专家系统。

目前,国内尚未见到有关模糊专家系统的正式出版书籍,作者

希望本书能为读者提供有关模糊专家系统的一个框架,如果本书能为读者在建造高性能的模糊专家系统中提供一点帮助,作者的目的也就达到了。

本项目的研究得到国家自然科学基金和华中理工大学研究生院的支持和帮助。同时,在撰写本书的过程中,得到华中理工大学计算机系系主任卢正鼎教授以及陈传波副教授的热情鼓励和支持,他们对本书提出了许多很好的建议;在审阅全书时,华中理工大学机械科学与工程学院院长、博士生导师周济教授又提出了很多极有价值的宝贵意见,在此一并致以深切的谢意!

由于本人的水平所限,书稿虽几经修改,仍难免差错,热切地希望诸位学者同仁和读者批评指正。

李 凡

1994年2月于华中理工大学

目 录

第一章	从传统专家系统到模糊专家系统	(1)
1.1	传统的专家系统	(1)
1.2	模糊专家系统	(8)
1.3	几种主要的模糊推理方法	(11)
第二章	专家系统中的模糊数	(14)
2.1	置信区间	(14)
2.2	模糊数	(25)
2.3	模糊数的加法运算	(28)
2.4	模糊数的乘法运算	(40)
2.5	模糊数的取大和取小运算	(50)
2.6	模糊数的卷积	(59)
2.7	L - R 模糊数	(63)
2.8	三角模糊数	(69)
2.9	两个模糊数之间的距离	(74)
第三章	T -算子与模糊推理	(86)
3.1	T -算子的定义	(86)
3.2	一些典型的 T -算子	(88)
3.3	T -算子的性质	(92)
3.4	基于 T -算子的模糊推理方法	(97)
3.5	生成 T -算子的方法	(102)
第四章	模糊数据的综合处理	(105)
4.1	非模糊数据的综合	(105)
4.2	隶属函数的计算	(108)
4.3	语言近似	(114)
4.4	变差计算	(117)
第五章	模糊产生式规则的匹配计算	(122)
5.1	前件与事实之间的真值关系	(122)
5.2	匹配程度的计算	(125)

5.3	与其他匹配计算方法的比较	(132)
5.4	几个例子	(136)
第六章	加权模糊匹配的计算方法	(142)
6.1	模糊模式匹配	(142)
6.2	匹配计算	(147)
6.3	重要性的处理	(150)
6.4	可变权的处理	(156)
6.5	模糊部分匹配	(157)
第七章	不确定性的更新计算	(162)
7.1	不确定性的表示	(162)
7.2	规则左边的可信度计算	(168)
7.3	知识库的管理	(176)
第八章	规则或结论的组合	(183)
8.1	概述	(184)
8.2	采用单个规则的推理	(186)
8.3	扩展和减缩推理	(194)
8.4	规则或结论的组合	(196)
8.5	一个实际例子	(220)
第九章	模糊蕴含算子与选言推理	(245)
9.1	模糊蕴含算子	(245)
9.2	合成推理规则的扩展	(247)
9.3	广义的选言推理	(252)
参考文献		(269)

第一章 从传统专家系统到模糊专家系统

在人工智能和知识工程的研究和开发中,专家系统是最为活跃的一个分支领域,在工业、农业、医疗、商业、管理、以及军事方面等领域中,已经研制和开发了许多卓有成效的专家系统,取得了巨大的经济效益和社会效益。本章主要讨论传统的专家系统与模糊专家系统之间的主要区别和联系,以及它们各自的特点和所具有的功能。

1.1 传统的专家系统

专家系统是在没有人类专家存在的领域中,模拟人类专家的推理过程或执行人类专家的行为方式的一个计算机程序。由于规则能够很好地表示推理过程中事物之间的因果关系,因而许多专家系统都采用规则的形式来表示领域专家的知识:

If X is A_1 , THEN Y is B_1 ,

IF X is A_2 , THEN Y is B_2 ,

⋮

IF X is A_n , THEN Y is B_n .

如果我们获得一个观察事实:

X is A_k $k=1,2,\dots,n$

那么我们就可获得如下的推理结果:

Y is B_k

在传统的专家系统中, A_k 和 $B_k(k=1,2,\dots,n)$ 只能用精确的数值或精确的符号值(可能是语言变量的语言值)表示,且该值的特征函数值具有如下的特征:即 $\mu_{A_k}(x_i)$ 和 $\mu_{B_k}(y_i) \in \{0,1\}$,换句话说

说,在传统的专家系统中, A_i 和 B_i 只能在二值逻辑中取值。这样一来,在传统的专家系统中,规则的前提和结论只能包含确切为真或确切为假的命题,不允许出现像“大部分西红柿是红的”、“至少 30% 的人是大学生”等这类形式的模糊命题。如果要模拟领域专家知识的不确定性,只能在规则的后面增加一个规则的可信度,用以表示规则的可信程度(即知识的不确定性):

$$\text{IF } X \text{ is } A_k, \text{ THEN } Y \text{ is } B_k \quad \text{CF}; \sigma \quad (1.1)$$

除了规则尾部的确定性因子 CF 外,规则本身是不允许含有模糊命题的。

我们将采用上述规则的专家系统称为第一代专家系统。在这种传统的专家系统中,观察事实与规则的前件只能是精确的匹配,即匹配结果要么为 1(即完全匹配),要么为 0(即完全不匹配);不允许部分匹配。

采用这种在规则尾部用确定性因子表示整个规则的不确定性在许多情况下,不能很好地模拟领域专家的经验、窍门和求解问题的策略和方法。为了更好地表示领域专家的知识,就需要将不确定性引入到规则的内部,即规则的前件和结论可以包含模糊命题,这表明在专家系统的开发和研制中,需要引入模糊集和模糊逻辑的概念和有关技术,从而使专家系统的开发进入到第二代——模糊专家系统。这是下一节要讨论的内容。本节我们先讨论第一代专家系统的有关性能和特点。

一个专家系统至少由 3 个部分组成:一个推理机、一个知识库和一个工作存储器。知识库包含有问题求解过程中使用的专家的领域知识;工作存储器作为高速暂存用以存储从系统的用户所获得的信息,以及存储推理过程中所获得的中间结果和最后结论;推理机则根据从用户获得的有关信息采用领域知识从而推导出具有专家级的求解结果。

例如,一个专家系统的知识库中有如下 4 条规则:

$$R_1: \text{IF } a \text{ THEN } e,$$

R_2 : IF c THEN f ,

R_3 : IF d and e THEN i ,

R_4 : IF b and i THEN j 。

工作存储器中存储的信息为:

a, b, c, d

那么推理机获得的中间推导结果和最后结论分别为:

1. 执行 R_1 后,工作存储器的信息应为: e, b, c, d ,
2. 执行 R_2 后,工作存储器的信息应为: e, b, f, d ,
3. 执行 R_3 后,工作存储器的信息应为: b, f, i ,
4. 执行 R_4 后,工作存储器的信息应为: f, j 。

因而系统最后输出的推理结果为: f, j 。

这只是专家系统的一个简单例子,实际情况要复杂得多,如规则的执行顺序、推理过程中出现竞争规则如何处理等等,但掌握上述专家系统的基本运行(推理)过程对专家系统的理解是有益的。

专家系统可以模拟不确定性和不精确性,但它们采用的方法都各不相同,例如 MYCIN 采用确定性因子,而 CASNET 采用最有效的测试结果等。在传统的专家系统中,大多数专家系统处理不确定性和不精确性的方法都是针对某一问题而专门设置的,缺乏严格的理论基础的支特,仅由经验测试来证明它的有效性。

除了领域的专门知识外,专家系统一般采用弱方法来求解问题。所谓弱方法是指一种与问题领域无关的问题求解方法,由于这种方法独立于任何特定的问题领域,因而在求解过程中难免会遇到因盲目搜索而产生的组合爆炸问题,因而将这类方法称为弱方法,如宽度优先搜索、关键状态法、生成测试法、手段-目标分析法都是求解问题的弱方法。

除了上述的三个基本组成部分外,大多数专家系统还具有解释设备,用于向用户解释推理的轨迹。有的专家系统还有自然语言的生成设备和/或解释设备,还有些专家系统具备有一些基本的学习功能等等。

一个较好的专家系统应由如下几个部分组成：

- **自然语言接口**：用于专家系统与用户的交互作用，它能将用户的自然语言或类自然语言表示成机器能够理解的代码形式，或者将系统的运行结果（中间和最终结果）转换成用户能够理解的自然语言形式。

- **黑板**：主要用于记录系统运行的中间结果，包括运行中所生成的假设和决策。系统内任何两个组成部分要进行信息交换和信息处理，都必须通过黑板来执行，换句话说，系统内任何组成部分不能直接相互作用，每个部分只能在黑板上“写”出信息或从黑板上“读”信息来进行联系，因而黑板实际上是一个通讯连接设备，它的功能与网络传输系统中的邮箱是十分相似的。规则的执行实际上就是对黑板的不断修改。

- **知识库**：知识库中存放着专家求解问题的规则、事实与常用数据。不同的知识表示方法所构成的知识库的形式是不同的，在对知识库进行检索、修改、删除操作时，需要保持知识库的一致性和运行的高效性。

- **推理机**：根据系统的要求，推理机选择合适的控制策略并从知识库中选择合适的规则来进行推理，通过事实与规则前件的匹配与否，从而对规则的条件进行验证，以决定是否启动该规则，然后按规则的要求对黑板作相应的修改，即用规则的动作部分代替出现在黑板中的事实信息，由这里可以看出，规则连续不断执行实际上就是不断地用当前执行的规则的动作对黑板上的信息进行修改。

如果系统在运行中，有两条规则同时满足当前的匹配事实，这就需要解决规则的冲突问题，即系统要决定首先使用哪条规则。例如，系统的知识库中有如下两条规则：

R_1 : IF a and b THEN e ,

R_2 : IF a and b and c THEN f ,

观察事实为： a, b, c, i, j 。此时规则 R_1 和 R_2 与观察事实都匹配，到

底执行哪条规则?目前,人工智能研究者和知识工程师提出了多种规则冲突的消解策略。例如“多条件原则”就是一个较好的策略,用此原则对上述冲突进行判断,可以看出应先执行规则 R_2 ,因为它的条件比 R_1 的条件要多。

- **解释设备**:这一机构向用户解释系统的行为。通过这一设备用户可跟踪系统所使用的知识和推理过程,并使用户知道为什么系统需要提供某一信息,以及中间和最后结果是怎样获得的,从而使系统具有透明性,这一性能的好坏将直接关系到系统是否能推广,是否能受到用户的理解和欢迎。一个没有解释设备的专家系统(或者解释功能很差的专家系统)是很难为用户所接受的,由于用户对系统的行为一无所知,从而大大地降低了用户对系统推导的结论的信任程度。

- **学习机制**:这里所要求的机器学习功能只是一种初步的要求,即主要是从黑板上所显示的中间运行结果和状态进行学习,以便改进知识库。目前,知识获取自动化即机器学习是研制和开发专家系统的一个瓶颈问题,具有学习功能的专家系统还很少。尽管有些学习工具已能满足一些系统的某些需要,但就学习能力而言,仍然还是初步的。

- **总控程序**:它通过黑板对整个系统进行控制。这种控制方式对用户使用专家系统显得十分方便。

图 1.1 给出了专家系统的组成结构示意图。

下面我们讨论专家系统的分类问题。目前国内外已开发和研制了许多专家系统,根据不同的出发点,可以把专家系统分成不同的类型。目前,常用的几种分类方法是

1. 依据专家系统的应用领域,可将专家系统分为医疗、地质、化学、交通、管理、军事等类型。
2. 依据专家系统所采用的方法和技术,可将专家系统分为演绎、经验、工具等类型。
3. 依据专家系统所解决的问题类型,可将专家系统分为诊