

**专家系统和
模糊系统
及程序实例**

中国科学院成都计算机应用研究所情报室

专家系统和模糊系统及其程序、实例

73.82
G189

刘甫迎 周 萍 刘元社 林 红
袁曙涛 袁志宏 郑红兰 包 青
刘甫迎 审校

编译

(未经许可不得翻印)

中国科学院成都计算机应用研究所情报室

一九八八年五月

写 在 前 面

近年来,专家系统迅速发展已成了国内外人工智能的“热点”,人们对知识工程的重要性认识越来越明确,对专家系统应用的要求也越来越迫切。为了满足人们深入了解专家系统的愿望,我们编译了《专家系统和模糊系统及其程序、实例》一书。

该书主要由三部份组成:第一部分为美国C.V.Negoita写的专家系统和模糊系统。计有七章,深入浅出地介绍了什么是专家系统和知识工程,专家系统的组成,知识的表达,模糊集合,近似推理,决策支持系统里的知识工程,管理专家系统里的知识工程等专家系统和模糊系统的基本概念,适于专家系统和模糊系统的入门。第二部份为M.J.COOMBS的“Developments in expert systems”(专家系统的发展)一书,该书编辑了13篇近年来国外专家系统新发展的研制报告。这些都是专家系统实际的总结文章,许多打破了传统的规则式知识表达;使用“深”知识等。它们涉及面广:有设备的数字电路硬件缺陷诊断,医学,商业等领域的问题,甚至还有中世纪法国历史人物传记等。这部份适于较专业的人员在选题和建立专家系统时借鉴。第三部份收集了部份国内较有影响的专家系统方面的文章和实例,并给出了国外一些用LISP和PROLOG编写的专家系统程序。在这部份资料汇集中,因时间关系未一一征求作者意见,不妥之处,敬请作者原谅,并对作者积极支持此工作表示衷心感谢!

本书第一部份由刘甫迎、周萍、刘元社、林红编译,第二部份由袁曙涛、林红、袁志宏、郑红兰、包青编译,全书由刘甫迎审校、郑茂才编辑。

本书可供从事计算机应用研究的人员(大专院校、科研单位、商业、企事业、银行、财经、情报、档案、经济、石油、化工、医学、军事、农业、交通、工矿、教育、文化等)使用参考。还需要购本书和与本书配套的适用于IBM PC机的人工智能语言TURBO PROLOG, MULISP, Forth软件,请与成都:中国科学院成都计算机应用研究所报情室联系。

感谢为本书的出版给予大力支持、帮助的唐俊杰和其他有关领导、同志!

由于时间匆忙,水平有限,错误难免,请赐指正。

编译者

1988.5于成都

试论专家系统的由来和发展 (代序)

刘甫迎

文章从第一个专家系统的推出过程、专家系统理论上的成熟、实时专家系统的出现, 问题和趋势四个方面论述了专家系统的由来和发展。

(一)专家系统的首次推出详述

对专家系统的由来和发展作历史的透视, 特别是对经典的专家系统 MYCIN 的产生过程作较详细的分析, 这对在建立专家系统时得到借鉴是不无好处的。

我们知道, 产生式规则是由 Allen Newell 带到人工智能中去的, 他看见了其表现在 Rober Floyd 的形式语言和编译上的力量和简单性 (Floyd, 1961, Carnegie—Mellon 大学)。Newell 看见了产生式系统在心理学模式上的作用, 其研究题目至今仍在 Carnegie—Mellon 大学各地努力进行着。Edward Feigenbaum 在六十年代于斯坦福通过与 Newell 会谈后 (见 Newell 1966), Edward Feigenbaum 主张用产生式规则去表示在 DENDRAL 中的特定领域内的知识。Don Waterman 响应这个建议, 但它决定用于扑克游戏的规则 (Waterman, 1970) 而不是用于自然科学。他的成功和 Feigenbaum 的继续倡导, 导致了将 DENDRAL 的知识变成规则 (Lindsay 1980)。

DENDRAL 程序是第一个将特定知识建于一般问题的解决方法上的人工智能程序 (见 Feigenbaum et al., 1971)。它始于60年代中期, Joshuan Lederberg 和 Feigenbaum 考查人工智能方法用于假设公式时。DENDRAL 建立了在有机化学中经验数据的解释, 特别是关于未知有机化学化合物的分析数据的解释。到了70年代, 有了数个大的程序, 合起来叫 DENDRAL, 它们帮助有机化学家说明分子结构。在 DENDRAL 研究中涉及的主要问题是表达一定领域中 (象化学) 特定的知识, 以便计算机程序能运用它去解决复杂的问题。

MYCIN 是 DENDRAL 派生出来的。学习后者的许多东西用来构造和完成了 MYCIN。DENDRAL 组的老成员, Lederberg 和 Feigenbaum, 确信他们自己和 Bruce Buchanan 可将做出 DENDRAL 的人工智能的思想用于医学的输出问题。大约在那个时候, Edward Shortliffe 刚好作为一个医学学生在计算机科学系选修了由 Jerome Feldman 所教授的“思维过程的模型”的课, 而认识了人工智能。也是在那个时候, 斯坦福大学医学院医疗生药系主任 Stanley Cohen 一直致力一个医学计算课题的研究工作, 即 MEDIPHOR 药物相互作用警告系统 (Cohen et al., 1974)。他寻求 Buchanan 进入该题目, 也接受 Shortliffe 作为一个研究助理在该课题。另外, 计算机科学系的主任 George Forsythe 很强有力地支持这种研究课题, 并促使 Shortliffe 在这个领域内去获得正规的训练。这样形成了 Cohen, Buchanan, Shortliffe 合作的局面。在致力于 MEDIPHOR 六个月的合作后, 他们的讨论开

始集中在一个应该监督医生开处方的计算机程序上(治胆病方面的,对不合适的处方提出警告, MEDIPHOR 中药与药交互时警告的方式)。这样一个程序将需要访问在三个斯坦福计算机上的数据库:药房、诊所实验室和细菌学系统。这需要一般和特殊的许多知识。Chohen 有兴趣于斯坦福传染病部主任 Thomas Merigan, 后者有经验。在讨论这个新型的监督系统中,他们迅速地认识到应该要求更多的医学知识而不仅是为 MEDIPHOR。在一个系统能监督不合适的医疗决策前,它将需要成为一个在这个领域内的“专家”。这样,用从终端而不是从病人档案而来的直接数据项的监督修改,一个监督系统能被修改成提供医学的咨询。另外,集中在相互系统的请求给我们提供了短线项方法,而避免了三个计算机连结在一起给监督系统提供数据的困难。于是,基于计算机咨询的概念便诞生了,他们开始模型化传染病咨询的 MYCIN。这个模型也符合 Cohen 的信念。

Shortliffe 综合了 Cohen 和 Axline 的医学知识以及 Buchanan 和 Cordell Green 的人工智能思想。Green 建议用 Inter Lisp(后来所知的 BBN——Lisp),它运行在 SRI International(后来斯坦福研究所)但不适合在大学。同 Green 对话后,导致运用 Carbonell 的程序的思想(SCHOLAR, Carbonell, 1970)作为一个对 MYCIN 的模型。SCHOLAR 表长了关于在大网络中南美的地理事实,并且由在网络上的推理来回答问题。但是,这个模型并不理想,例如它不能让人们知道与医生对话需要的时间有多长。他们也发现用传染病病理结构知识去结构网络是困难的。他们反回来代之以基于规则的方法,这种方法, Cohen 和 Axline 发现它较易于理解。

他们早期尝试成功的一个重要原因是 Shortliffe 的能力,他迅速提供了一个工作样式程序,其显示了 Cohen 和 Axline 在各会上叙述的规则结果。规则式模式对于各种变化提供迅速反应是重要的。这早期的工作程序不但保持了专家的兴趣,而且允许他们去设计紧急程序回答实际问题。

Green 推荐雇用 Carliscott 作为他们全时制的雇员, MYCIN 研究开始采取同等合作课题的状况。Axline 稍后录用懂传染病的青年学生给其帮助而去弥补 Cohen 的诊疗生药学学生。计算机科学系的研究生也被吸引到这个工作上来,部份因为它的社会关切,部份因为它的刺激性。例如, Randall Davis, 在斯坦福人工智能实验室一直做视觉理解的工作,当他听说 MYCIN 被接受于医学校的消息,立即决定将其研究投身于 MYCIN。

在他们允许的第一次应用中(1973年10月),课题的目标:

在过去一年半,诊疗生药部和传染病部加上数名计算机科学系成员合作于计算机——库系统(MYCIN)的初期发展,它将具有运用诊疗数据和考虑传染病诊疗判断决策的能力。提出的研究包括如下(开发和完成):

- A. 咨询程序。MYCIN 的中心是提供医生的咨询意见。
- B. 交互解释的能力。
- C. 计算机获得判断知识。

这个工作的第三个方面是寻求允许在传染病诊疗领域里的专家将他们自己运用在诊疗实践中的诊疗决策教给 MYCIN 系统。服从于上述要求促使他们去选择一个名字给这个他们已工作了两年多的课题。他们发现没有合适的字母缩写,于是他们选择了 Axline 的建议——MYCIN。这个名字是直接联系许多抗菌机构的共同后缀。尽管他们着眼于帮助医生的程序目标,他们也认识到这里有许多计算机科学问题必须去抓住。没有一个别的人工智能程序

(包括DENDRAL)建立在如此多的特定领域的知识上,其知识又是如此清晰地与推理过程分开。

以上叙述了第一个专家系统DENDRAL和最经典的专家系统MYCIN的产生过程,实际上就是知识工程师与某个特定领域内的专家进行交互产生专家系统的典型过程。

(二) 专家系统理论上的成熟

自第一个专家系统DENDRAL出现以来,已经十七、八年了。在过去的十七、八年中,专家系统发展迅速。除MYCIN以外比较著名的还有:

PROSPECTOR——帮助地质学家对矿址作评价 (Duda, 1978)

CASNET/glaucoma——诊断青光眼病的系统 (Weiss, Kulikoski和Safir, 1977)

R1——构形和安排VAX计算机的系统 (Mc Dermott, 1980)

Internist-1 和CADUCEUS——内科诊断 (People, 1982)

MOLGEN——在分子遗传学领域中的一种自动“科学助理” (Friedland, 1979; Stefik, 1980)

专家系统发展的这些年,它的一些基本原则概念从简单到成熟,它的一些要点由Davis于1982年正式总结出来:

推理机与知识库分开;

运用尽可能相向的表达,一般宁可选择产生式规则的表达式;

保持推理机的简单;

系统能对用户解释它的一个结论的某种形式的设备和提供一些有帮助的问题,这些问题要求运用经验知识实体,超越了使用因果或数学知识解决问题。

上面这些原则对专家系统的研究提供了一个强有力的开端。例如,规则式知识表达允许用户用经验去演化和在内容上几乎不设置什么限制。简单的控制结构的运用允许基本的解释程序,通过它一个系统对用户可解释它推理的原因,能帮助知识库的修改和查错。但是不久,越来越多的人便发现上面总结的这些正式原则的限制过于严格。于是近年来发展出来的一些专家系统便对这些限制提出了挑战或打破。特别是集中在两个问题上:

(1) 扩展了知识雇用的形式和支持它们的结构设计;

(2) 着手一个认识功能的更宽的范围的系统设计,而不是大量预先确定的,以前程序指导的问题解决系统。例如,这包括具有去“遮蔽”用户的问题解决的能力(仅在当可能的错误被注意到时中断),并且也具有从错误中自学习的能力。

这个时期,提出了“深知识”与“浅知识”的概念,并把建立专家系统时知识的表达分为“深入表达”和“表面表达”两种。当用表面表达时,典型地由IF——THEN规则组成。当用深入表达法时就由框架和语义网络组成。

基于框架和网络的方法,能实现更深入的思维,如抽象和类比。用抽象和类比进行思维是专家的一个重要活动。你能以这个水平表达专业领域中的对象和过程。重要的是对象之间的关系。深入表达的专家系统用框架和以网络表示的关系进行推理。语义网络是关系图。框架系统把对象及其关系组成实体(对象的可以识别的集合)。框架系统也是一种从实体的分类,继承属性的系统。因此,框架系统实现对象之间某些关系的语义。用一个语义网络或框

架系统人们可表示专业领域的对象；以及过程，策略等等。这也是领域的一部份。框架或语义网络的控制比表面系统复杂得多，用解释能力不能实现的方式实现。表面系统是不深入的。表面系统可以看成专家活动领域的深入水平的知识的投影。Steamer是使用深入表达法的一个辅助训练的专家系统，由Bolt Beranek & Newman公司以及海军个人研究开发中心联合开发的。它的目的是教操纵舰船蒸汽动力装置的方法。这些方法包括一系列对于装置的各个组成元件的操作步骤。元件和过程在Steamer中用框架表示。它们是专家们用来教蒸汽动力装置的元件和过程的抽象。过程的步骤从该过程适用的装置的元件抽象而来。过程的次序来自第三个表达实体：操作原理。这些原理从有经验的操作人员中采集而来。表达了操纵蒸汽动力装置经过编译的知识（虽然它们不是表达为规则而是表达为框架）。

这几年除了在知识的表达上有多种形式（如：Davis运用因果知识去诊断数字电子硬件的缺陷等）的进展外，国外在知识的获取上的研究也有很大的发展。用于专家系统的知识获取方法主要有：告知；类比；举例；观察、发现和验证；从深入结构进行推理等。用人工从专家们获取知识是很费劳力的过程，需要用专家系统帮助获取知识，作为专家系统的一部分工作。计算机从例子学习规则，这种加速获取知识的方法现已可行，象Expert—Ease这样的系统内部有能力从外面获得专家决策材料，并从中总结出可执行的规则。从某种意义上说人们可以把决策技巧从自己的头脑中移植到个人计算机中去。有的专家系统则干脆搞成不是特定领域的现成系统，让专家去“填”知识。

若干年来建立专家系统的工具有：卡内基——梅隆大学的OPS5是建立在LISP之上的一种程序设计语言，可便于使用产生式规则而设计的；斯坦福大学的EMYCIN，它脱离了专门领域后的形式，带有后链、解释方式及用户辅助程序；斯坦福研究所的KAS，它在建立或扩充专家系统知识库时管理专家的交往；兰德公司的ROSIE，是一种以规则作基础的通用程序设计语言，用于建立大型知识库，近似英语的语言翻译成INTERLISP；斯坦福大学的AGE，用于帮助用户建立专家系统的一种专家系统；信息科学研究所的HEARSAY3，脱离专门领域后并加以扩展的HEARSAY2版本，包括有一个“上下文”机制，一个复杂的“黑板”和一个日程安排程序；斯坦福大学的UNITS，一种知识表达语言和交互知识获取系统，语言既提供“框架”结构，又提供产生式规则；斯坦福大学的TEIRESIAS，通过有限的自然语言会话，为将专家知识交互地传递给专家系统提供方便的一种专家系统等等。

从专家系统现在应用的领域来看有几乎没有领域限制，例如：医疗诊断和开处方，医药知识自动化（如斯坦福大学的MYCIN，PUFF，麻省理工学院的PIP，皮茨堡大学的INTERNIST/CADUCEUS，拉特哥斯大学的CASNET等）；矿藏和石油勘测（如：PROSPECTOR等）；化学数据解读，化学和生物合成（如：斯坦福的DENDRAL，GAL等）；计划和日程安排（如：斯坦福研究所的NOAH和ABSTRIPS是关于机器人学的计划）等。

（三）实时专家系统的出现

这里要特别指出的是近年发展起来的实时专家系统，它已进入了过程控制领域，工厂自动化方面，它是专家系统应用发展到一个新阶段的标志。目前，国外开始建立无人工厂或半无人工厂（晚上无人），使用实时专家系统控制整个生产过程。它与以前专家系统不同的地方，一个显著特点是它必须实时操作，当工厂运行时，它从传感器不断获取数据，然后控制

生产过程。思维过程必须采用对几个头绪的思路的并行推理，在工厂操作的时间限度内得出一个系列结论，它的推论速度是重要的。目前国外已开展了实时专家系统的研制工作。在英国，二十多个企业组织一个RESCU（实时专家系统用户协会）。每一个企业提供一万英镑，再加上英国政府提供的Alvey基金，搞个实时专家系统技术的示范项目，并把这个系统用于英国东北一个洗涤剂工厂的生产控制，从1985年中期开始建立实时专家系统。美国Sperry计算机公司在全世界16个国家选择44所大学来开发人工智能科研项目，资助的基金超过650万美元。得到资助的加拿大的大学有三所。笔者所进修过的Mc Master大学就是其中之一，得到资助20万美元，用于实时专家系统的研制工作。由该校计算机科学及系统系在该校的核反应堆上建立实时专家系统。这个系统用来作为核反应堆操作人员的人工智能助手，也用来诊断及纠正核反应堆的失常情况。它还可单独用作仿真器，用来训练操作人员和故障诊断人员。第二步工作是在第一步工作取得经验的基础上，把实时专家系统技术和知识工程用到工业上，如安大略水电站，钢铁工厂和化工厂等。

除了在专家系统应用的领域方面开拓外，最近国际上还有将专家系统“硬件化”的新动向。如在加拿大Mc Master大学的中国留学生陆鹏最近与他的导师合作，在博士论文中从理论上探讨了将中间结论去掉后用硬件逻辑器件实现专家系统的可能性。

（四）问题和发展趋势

仅管国外专家系统的发展比较普遍和完善并取得了明显的成果（如：R1用来配置VAX计算机系统每年可为DEC公司节约数百万美元等），但它仍存在许多问题。主要表现在：建立专家系统的工作繁琐，建立起基本系统之后也只是在少数情况下可能编制知识获取系统与专家直接交互作用以扩展知识库。多数专家系统在边界判断上有其弱点，即使最好的系统有时也会给出错误的结果。一般系统只有它的制造者和其他的知识工程师才会成功的使用，因此推广应用受到限制，作为商品投入市场的还不多。另外，专业领域面还有些窄。

针对这些问题国外专家系统发展的趋势首先是“向着目前专家系统尚未涉及的领域发展，专家系统的应用几乎没有领域和功能方面的限制，凡是要求用详尽的专业知识进行符号推理之处，最终几乎都可使用专家系统。今后几年之内，人们可期望得到有几千条规则的专家系统，以规则为基础的系统数量将不断增加，不依靠规则的系统也将会增加。人们将得到更完善的解释系统，用以解释专家系统为什么要做某些工作，哪些工作重要等。80年代后期，人们将会看见更好的智能接口和更好的专家系统建设工具。同时还将研制出用来可作为没有专家的专门领域建立专家系统的工具。到1990年，可望出现这样的知识获取系统——只要给出领域内的基本前后关系，它就指导专家很快组成所需专家系统的知识库。2000年前后，即可望开始出现能从文献中生成知识库的半自动化系统。上述发展的结果将预示一个成熟的信息社会的到来。在这样的信息社会里，专家系统将使每个社会成员都能使用它。那时，生产和信息的费用将大大减少，从而为社会展示更加美好的前景。”——这是一些文章所预示的趋势。当然也是国内专家系统发展的趋势，它是美好和令人向往的。让我们为之努力，伸出双手迎接它的到来吧！

本文参考文献

- [1] Bruce G. Buchanan and Edward H. Shortliffe "Rule—Based Expert Systems The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project" , 1984
- [2] M.J. COOMBS, "Derelopments in Expert Systems" , 1984
- [3] 濮强国, "国外专家系统技术", 1986·5。
- [4] 阎继成, "专家系统概述", 1986·5。
- [5] 濮强国, "实时专家系统", 1987·2。

前 言

如何使计算机更聪明些，是以计算领域一开始就摆在它面前的一个问题。步骤的纯粹重复，例如，数的相加，矩阵的转换，甚至方程的求解，以前都认为是直接编码的硬件指令。任意传统的计算机程序指示机器去存取数据，但如何处理这些数据的决策在程序的语言中却一直是直接编码的，并且在程序执行时是存放在内存中的。这些决策是由人类程序员制定的，他们具有制定决策的知识。

知识工程是一门把人类知识集成进计算机系统的学科。任意一个知识库系统显著特征就是：它的过程是状态驱动的而不是直接编码。如何处理数据的决策是系统的知识的一部分。换句话说，一个智能系统能够写出它的程序。知识是过程的，也就是说它告诉和一个问题有关的数据如何被处理以解决这个问题。通过把过程知识内化为世界的一个模型，机器就变成有智能的了。

专家系统是一个信息系统，它可以提出和回答与借自人类专家并存贮于系统知识库中的信息有关的一些问题。答案是自动地由一个用户可见的推导过程从数据描述中抽取出来的，这个事实产生了极大的数据独立性。用户不仅可以用一种高层次的、面向人类的方式来表达数据，而且也可以节省描述用于查询数据的操作所作的努力。

因为专家系统中的知识库是由人类专家放置的，同时因为许多人类知识是模糊的，因此通常的情况是：事实和规则既不完全肯定，也不完全一致。因此，在专家系统的设计中一个基本的问题是如何装配它们，使其具有证据转移的可计算能力。

这为解决这个问题，研究者仍已经在推导过程中增添了根据似有理推理规则来结合证据度的机制。似有理推理就是指从似乎是正确的事实中推出结论的推理。在许多系统中，这种机制是纯启发式的。然而最近以来，一些研究者们已经试着把这种机制变为数学合理的。

一个很有前途的方法是基于模糊集理论的。在这种情况下，我们讨论近似推理，也就是说在推出结论时要考虑到事实的协调性。对模糊性的处理是知识表达中的一个极为重要的问题。我们说一个词是模糊的，就是说关于这个词是否施加到某一事物上有时并无确定的答案。不确定性是由于这个词的意义而不是我们的知识的状态。在所有基于符号处理和似有理推理的专家系统中，不确定性被认为存在于我们的知识状态中。在基于语义处理和近似推理的专家系统中，重点却放在被认为是自然语言的内在特性的模糊性上。

模糊集方法的一个明显优点是：它可以用一种统一的方式来表达数字变量和语言变量，并用一种合理的形式化方法来处理它们。

如果我们把事实表达为客体（对象），把规则表达为同态，那么范畴的数学理论就是描述证据结合机制的一种好语言。似有理推理和近似推理之间的区别变成我们用来模拟事实的范畴之间的区别。采用这种方法，知识的一种代数变得对系统设计者来说是可用的了，并且知识图表变成了用于逻辑程序设计中的说明性系统和产生式系统的模型。

在本书中，我试图指出近似推理的基础，并尽可能地用实例说明这些概念。我已经试着

在知识工程中提出模糊系统的作用，以使得它可被广大的读者所接受，包括那些感兴趣于这些系统的设计和应用，以及它们的哲学原理和逻辑的人。由于这个原因，本书是介绍性的，并且已经简单化，以便容易理解知识库计算的一些最重要的特征。因为在实际计算中，模糊集是表格，所以我在书中也采取这种表达方法。每章都包括广泛的带有注释的阅读材料，尽管本书是用作课本，但它并不包括要解决的实例问题。带注释的阅读材料提出了许许多多的实际问题，因而再添加一些人造问题似乎是不太合适的。读者需要注意的是：实际的专家系统都是定做的。

想提供新的或有经验的知识工程，并且带有这个专题的最重要的材料，则不可避免地要留下一些空隙。我已经限制自己采用一些面向管理的应用，在这些应用中事实和规则被错误地定义，并且似乎只能使用一种语义方法才行。也许这种方法的最强的含义在于：它把知识工程师抛在了一个新的岗位上。基于似有理推理和符号处理的专家系统的问题求解能力，首先是知识库中的信息的特殊域的一个函数，其次才是系统推导方法的一个函数。而基于近似推理和语义处理的专家系统的问题求解能力都主要地是它所采用的推导方法的一个函数。知识工程师不再仅仅是人类专家和发展中的知识库之间的桥梁。以他们新的作用来看，他们是独立于这二者的。

这种看法需要解释一下。知识获取一直是人工智能中的一个长期存在的瓶颈口，当然，包含的知识最多，知识系统的能力也就最大。符号系统处理描述断言和决策规则的编码，重点是在递归和表结构，它们可用过程语言来处理。

基于近似推理的知识系统被确定为少向着表结构而多向着逻辑程序设计。在这种情况下，程序设计风格几乎一点也不与过程语言例如PL/1，Pascal，甚至LISP相似。通常的流程图无法帮助书写逻辑程序。程序员必须集中精力于将要被表示的意义上，并且他必须用一种说明性的风格来表达这个意义。

这种方法的一个主要问题是自然语言和语法的使用。使软件用户更友好，在今后的十年中将逐步变得更为重要，因为更多高效的机器对比以前广泛得多的用户正变得可用起来。许多计算机用户将不会有什么计算机科学方面的训练或者得到这种训练的机会。他们想用自然语言和任意的计算机进行任意的对话。只有模糊系统方法使得这种通讯成为可能。

根据这本书所讲的内容，一个语义系统是使用模糊集技术来翻译一个词汇的意义的软件。一旦知识工程师开发了语义系统，用户就可使用它而无任何界面可言。通过一个语义系统，用户可以以多种形式组织知识：产生式规则，产生式系统，以及语言模型。语言模型可看成带有数学操作算子的产生式系统。本书强调了这种方法对语义系统的优点在于：产生式系统可被当作决策表看待，而动态模型可以和语言变量一起被处理。

这是用在管理中的知识类型，同时我希望读者能发现知识系统如何变成在决策过程中的一个实际可用的东西。如果知识系统被负责任地开发出来，那么其结果对人类系统管理和人类管理系统都是一个重大的改进。

C. V. Negoita

目 录

试论专家系统的由来和发展(代序)

第一部份 专家系统和模糊系统

前 言

第一章 导 言

专家计算机系统.....	(1)
领域和本书.....	(4)
历史概况.....	(7)
阅读文献.....	(9)

第二章 知识工程中的精确与非精确推理

· 用规则思考.....	(16)
合理的近似推理: 改变证据组合的布局.....	(20)
范畴论.....	(21)
模糊最优化中的近似推理.....	(24)
总结.....	(27)
阅读文献.....	(28)

第三章 模 糊 集

模糊性.....	(32)
开放式结构.....	(33)
模糊集是函数.....	(34)
模糊子集代数.....	(35)
多少是一点? 模糊数字以及对SORITES 的回顾.....	(39)

模糊集范畴.....	(41)
总结.....	(43)
阅读文献.....	(44)

第四章 知识表达

知识工程的问题.....	(47)
符号处理的产生式系统.....	(48)
产生式规则可以从语言模型中导出.....	(49)
产生式规则是模糊集之间的关系.....	(51)
产生式规则中的语言变量.....	(53)
用模糊关系表达知识.....	(54)
总结.....	(58)
阅读文献.....	(59)

第五章 近似推理

推理原则.....	(62)
真值是什么? 相容性.....	(64)
知识图是模糊系统的模型.....	(66)
真值问题.....	(69)
值问题.....	(71)
变量问题.....	(73)
总结.....	(74)
阅读文献.....	(75)

第六章 决策支持系统中的知识工程

形成决策时的判断和信息.....	(78)
定性查询.....	(79)
数字数据库和语义学查询.....	(81)
策略例程.....	(83)
用动态增强型模型规划和预测.....	(85)
灵活性程序设计的回溯.....	(88)
总结.....	(89)
阅读文献.....	(90)

第七章 管理专家系统的知识工程

对决策制定的语义方法哪个最佳?	(92)
将做的工作? 带咨询系统的决策支持	(94)
正在进行的工作? 语义系统的定性分析	(95)
语言近似	(99)
总结	(100)
阅读文献	(102)

附 录

逻辑分类分析	(104)
参考文献目录 (按字母顺序)	(107)

第二部份 专家系统的发展

导言 (Mike COOMSB)	(123)
1. 从第一原理进行推理的电路故障检测法 R. Davis	(127)
2. 面向诊断问题的深层知识编译方法 B. Chandrasekaran 和 S. Mittal	(143)
3. 基于一个集合覆盖模型的诊断专家系统 J. A. Reggia, D. S. Nau 和 P. Y. Wang	(152)
4. 专家系统的应用 A. Basden	(172)
5. 咨询系统用于评价用户方案 C. P. Langlotz 和 E. H. Shortliffe	(185)
6. 从初学者到专家的发展中的经验角色理解 J. L. Kolodner	(199)
7. 诊断咨询系统中的策略解释 D. W. Hasling, W. J. Clancey 和 G. Rennels	(218)
8. 另一种模式的专家系统 M. Coombs 和 J. Alty	(232)
9. 知识的重组织和推理的风格 C. K. Riesbeck	(250)

10. 基于规则的技术在咨询系统设计中的应用	
P. Jackson 和P. Lefrere.....	(263)
11. 专家系统和信息恢复: 传记数据管理领域中的一个实验	
G. P. Zarri.....	(286)
12. 应用于基于知识的制图特征提取系统的分布式结构和并行无向搜索	
B. A. Lambird, D. Lavine和L. N. Kanal.....	(303)
13. 一个词语预测解释模型	
A. C. Zimmer	(314)

第三部份 实例与程序

前 言

计算机医学诊断系统.....	郭荣江 (325)
中医专家咨询系统——ZRK82.....	管纪文、朱仁康等 (330)
中医痹证计算机辅助诊断系统.....	朱学增等 (337)
运动创伤(软组织)电脑诊疗专家系统.....	王 卫 王安泰 薛乌兰 刘甫迎 (342)
林如高骨伤电脑诊疗系统研制报告.....	陈道灼 孙建嵩等 (348)
林如高骨伤电脑诊疗系统医理设计.....	陈道灼 孙建嵩等 (357)
智能模拟楼百层老中医针灸看病.....	章少华 (380)
用MULISP编的程序例子.....	(388)
用T-PROLOG编的程序例子.....	(433)

第一章 导 言

专 家 计 算 机 系 统

当历史学家给本世纪的科学技术排名次时，无疑地，专家系统肯定会名列前茅。专家系统——模拟人类某专家演绎和归纳推理过程的软件系统，属于人工智能的范畴。为了完成知识工程的任务，必须至少有一个公认的人类专家。

专家系统主要运用于资本集聚的领域，例如采油或勘探，这里人类专家缺乏并且浪费的仪器的价值是这样高以致一个专家系统所花费的代价能迅速弥补起来。专家系统在医学领域中获得早期的成功是因为花费了大量的尝试写下了人们所知道的解决问题的最好方法。的确，某些专家系统诊断疾病如同平均的医学专业医师诊断的水平一样好。类似地，金融和会计学早期适于专家系统，是因为这些领域的知识是具体的并能相对容易地结合进知识库。但是，在许多领域经验是不能完全定义的，仅能通过特殊的方法表示在专家系统中。

九十年代将通过变化计算机的基本设计，着眼于扩大人类的智能力量，以致使计算机能完成与人们智能的自然交流。

人类讲“自然”语言，例如英语或法语。计算机讲“非自然语言”，例如Pascal，FORTRAN，或BASIC。大规模的专家系统依靠自然语言作为对于知识库的前沿。

产 生 式 系 统

专家系统要求两个东西：事实和关于所给领域规则的集合以及从这些事实和规则进行推理的方法。任何规则都是一个模式调用程序。这种程序不被普通方式的另外的程序调用，而是无论何时只要数据满足确定的条件时便产生行动。）

有特殊意义的一个模式调用程序是产生式规则：

条件→行动 (Condition IMPLIES action)

条件通常是一个或多个测试事实当前状态性能的谓词。行动依次变化事实的当前状态。规则在自然语言中习惯地公式化、精确或模糊地反映人类的专家知识。例如，产生式规则：

价格低→通常利润应该低

它能单个使用或者在产生式系统中使用。

一个产生式系统主要由一组条件—行动规则和一些周期里的操作组成。在各个周期中，各产生式规则的条件相对于事实的当前状态而匹配。当规则和条件匹配时，产生行动。这些行动影响事实的当前状态，使新的产生式规则匹配。产生式系统一个有希望的特色是它们的模块化。因为各个产生式规则是相对地独立于每个另外的产生式规则的，原则上，我们能够构造模块系统。产生式系统基本上不同于传统的计算机程序，因为它们的任务没有算法结果和因为这样的系统必须运用不完全的信息去作为决策。

逻辑编程

在任何产生式规则中，知识是测验序列的，它告诉如何操作一个问题的数据去解决一个问题。序列知识也能由逻辑编程表达。在逻辑编程中，能表达如象事实或规则那样的知识。事实和规则的基本建立单元是判断，那就是，在一个领域中叙述关于单个简单的东西的表达式。例如，知识“Peter likes Sarah”的片语能表达为

LIKES (Peter, Saiah, m)

判断由谓词名后跟随一自变量表来表达。一个自变量能是单个的或程度范围的名字。

相对地，规则具有这样一形式：

P_1 if (P_2 and P_3 and...and P_n)

这里 P_1 表示判断。例如，Peter和Sarah是朋友的一般规则能表示为：

FRIENDS (Peter, Sarah) if LIKES (Peter, Sarah) and LIKES (Sarah, Peter)

如果全部这些条件满足，则结论产生。

一旦一组事实和规则已定义，便可从这些事实和规则推导信息。这个推论通过写出一个如下形式的表达式疑问来完成：

P_2 and P_3 and... and P_n ?

例如，所给领域描述

(1) LIKES (x, y)

(2) TALL (x)

(3) PERSON (x, y, z)

便能写出如下疑问：

WHO LIKES A TALL PERSON?

推理自动产生。由用户看不见的过程从数据描述自动提取回答的事实导致了很大程度的数据独立。不仅用户能在一个高水平表达数据，面向人的方式（而不是在字节、数组等项），而且他们也能从尝试用于恢复数据的描述操作上得到解脱。这些操作隐含在推理机中，对纯描述事实和使用规则赋予一个有用的意义。

智能意味内部化

如果有兴趣于专家系统创立的研究，可以看到与实据结合所遭到的困难而并发的火花。去尝试理解，公式化，和解决推理的问题导致某些关于人工智能定义的问题。一个机器能是智能的吗？到底，什么是智能？遵循专家系统的理论，智能意味一个外部介质的模型的内部化。计算机领域定义智能是一个意识的运动。

直到那个观点为止，智能都是涉及软科学的东西。当它成为涉及硬科学的东西的时候，事物的本体论便进入了现代世界。某些现代哲学家，叙说关于存在时，定义它为一个意识运动的履行。他们说存在的具有并不多于它自己实现的潜在力。这样，物本论者偏向动态潜在力作为存在的定义（C.Noiea, “Becoming into Being,” Ed.S.E.BUC, 1981）。