

庄昆元 王 炜 著
黄冰树 夏士华

地震预报 专家系统



地震出版社

地震预报专家系统

庄 昆 元 王 炜 著
黄 冰 树 夏 士 华



地质出版社

1991·北京

内 容 提 要

本书是一本论述地震预报专家系统(ESEP/PC)的专门著作。全书共分三部份。第一部份作为专家系统的入门,简要地叙述了有关专家系统的基本知识。第二部份,详细地介绍了地震预报专家系统(ESEP/PC)的总体设计思想,为实现这一设计思想所采取的技术措施、系统结构的特点和为使系统确切地体现预报专家的推理思路而在专家系统有关技术方面的发展。第三部份是专家系统的使用说明,使用户在阅读本书后即能上机使用本系统。

本书既是广大地震科技工作者学习和使用地震预报专家系统(ESEP/PC)的参考书,同时也可大专院校有关专业师生学习、建造专家系统作参考。

地 震 预 报 专 家 系 统

庄昆元 王 炜 著
黄冰树 夏士华
责任编辑:卢振恒

地 震 出 版 社

北京民族学院南路9号
东方印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
全国各地新华书店经售

850×1168 1/32 印张:6.3 字数:150千字
1991年2月第一版 1991年2月第一次印刷
印数:0001-1000
统一书号:ISBN 7-5328-0343-2/P·223.
(723) 定价:4元

序

当今世界，专家系统作为人工智能领域中最活跃最有实用意义的分支之一，已经被广泛应用于工业、农业、医学、教育、商业以及军事等各个方面，取得了令人瞩目的成效，并有力地促进了这些学科本身的发展。而在地震科学领域中引入专家系统技术，则还是近几年的事情。比如，美国首先在地震工程方面研制了地震危险性分析的专家系统，西欧及苏联等国也研制了用于台网的确定地震震相的知识基系统和确定潜在震源区地震震级的专家系统。欧洲地震委员会几乎每年都要举行专家系统的研讨会以促进这一技术在地震学领域中的应用。但是，作为世界上的一大科学难题，在地震预报中应用专家系统技术目前尚不多见。

我国从1986年开始研制地震预报专家系统经过几年不懈的努力，已经产生了积极的成效，1989年已有多个地震预报专家系统通过了国家地震局鉴定。它们的问世，是我国地震界一件值得庆贺的事情，它标志着我国地震预报事业已经步入了更高的阶段。安徽省地震局研制成功的ESEP/PC地震预报专家系统，功能齐全实用，受到国内地震界广泛的赞赏和国外一些国家的好评，为探索攻克地震预报提供了一个由经验性阶段向统计预报阶段过渡，由定性阶段向半定量阶段过渡的方法，这对推进我国地震预报的科学化和计算机化具有重要的意义。

正是在这个意义上，安徽地震局的同志编写这本书，是做了一件十分及时、有益和重要的工作。期望更多的地震工作者为发展我国的地震科学事业和提高地震预报的水平作几件实实在在的事情。祝愿ESEP/PC地震预报专家系统在地震预报的实践中发挥积极的作用。

陈章立 1991.1

前 言

“人工智能”自问世以来已经历了三十多年的发展过程。在这段时间内，有初期阶段成功的喜悦，有面临困难时期的沮丧，现在它又以生机勃勃的姿态出现在世界科技舞台上。“专家系统”是“人工智能”领域中最活跃的分支之一，自世界上第一个成功的专家系统DENDRAL问世以来，这项技术取得了长足的进展，在许多领域中获得了完满的成功，有些专家系统的功能在某些方面甚至超过了首创该领域的专家的工作，当前已经出现了商业化应用的趋势。我国自70年代后期也开始了“专家系统”方面的研究，并在医疗、地质、气象等部门收到了良好的效果。专家系统的目的是要使计算机在各领域中起到人类专家的作用。由于它克服了专家本人的时空限制以及在紧张状态下专家判断受情绪影响而出现难以避免的片面性，同时它也可集中许多专家的知识从而避免单个专家的局限性等一系列特殊优点，因此在许多领域中有着光明的前景，应用范围越来越广泛。

地震预报至今在世界上仍然是个科学难题，目前还处于经验预报的状态，同时也由于紧急状态的突发性和预报后果的严重性，往往会出现专家不在时难以作出决断和专家决断时受环境影响而出现的片面性。为解决这些问题，我们研制了地震预报专家系统(Expert System for Earthquake Prediction on Personal Computer, ESEP/PC)。该系统使用TURBO-PROLOG语言在IBM-PC微机上实现。系统由知识库、推理机、数据库、知识获取和解释等部分组成，其12个功能模块约2Mb字节。它具有建造专家系统和为地震预报咨询服务两方面功能。在建造专家系统状态，由于该系统具有工具系统的功能，领域专家可以利用本系统提供的知识模型ESEP/M确定结构知识及其推理知

识，确定推理网络和推理目标，从而建立起本领域的专家系统，在地震预报咨询状态，系统科学地模拟了地震预报专家的预报过程，通过全局推理、分区推理，得到发生中强以上地震的可信度空间分布图及其各危险区在中期、短期和临震阶段发生不同震级范围地震的可信度与预报意见。由于系统知识库中的知识较之个人经验更加准确，同时系统在推理过程中考虑全面，并且通过不精确推理，得到具有一定可信度的预报意见，因此使预报结论更加合理可靠。由于预报结论有了定量标准，从而也促进了地震预报由经验性预报向概率性预报的过渡。

该系统还具有如下特点：

1. 知识表示多样化并有所创新。该系统知识表示方法有如下几种：

(1) 规则/框架型 即节点间的关系用规则表示，而每一个节点的内容用框架表示。因此能客观、准确、恰当地表达领域专家的知识，尤其适用于地震预报中前兆现象复杂多变的情况。这是目前国内外未见报道的一种知识表示方法，也是本系统知识的主要表示方法。

(2) 一般规则型。

(3) 选择规则型。

(4) 类框架表示法 即在框架中还可进一步确定各槽之间的逻辑关系。

(5) 过程表示法等。

2. 分类组织知识 根据知识类型的性质，系统组织不同的知识库，并且用不同的表示方法进行物理存储。它为进一步研制分布式专家系统打下了良好的基础。

3. 该系统具有工具系统的功能，~~为~~为地震预报或其他领域专家提供建造专家系统的工具。

4. 由于地震预报的推理目标是地震发生的时间、地点和强

度,它是三维空间中的一个区域,因此不能直接采用现有的不精确推理模型。系统改进和发展了MYCIN不精确推理模型,提出了对独立事件的可信度分配率。同时针对地震预报的多维推理目标采取了先降维分别处理后再进行合成的方法。这一思路是科学和合理的,完全符合地震专家进行综合判断的过程。

5.提出了一种用目标网方法进行动态调度的推理方法,从而大大优化了调度路径,提高了推理效率。这种调度方法目前国内、外尚未见报道。

6.为保证推理结论的一致性,系统提供了确定异常证据可信度的子系统。

7.为消除证据之间的相关性,系统提出了一种经验性的相关改正方法。

8.系统采用了结构化的设计方法,便于维护。系统利用字典来实现代码与文字之间的转换,并通过菜单、窗口和图形方法,使系统具有优良的人机交互介面。系统在IBM-PC各类微机或兼容机上均可以实现,软、硬件环境无特殊要求,使用方便、灵活、便于推广使用,具有较大的实用意义。

9.根据不同语言的特点,系统采用了多种语言的交互使用。

为了推广专家系统技术和使用ESEP/PC,我们编写了这本书。作为入门知识,我们在第一部分的前三章简要地介绍了有关专家系统的基本原理及其结构。本书第二部分详细地论述了本系统的设计思想、知识表示方法、调度、推理机、不精确推理模型以及其他有关结构。最后为便于大家使用本系统,本书第三部分介绍该系统的使用说明。

本系统是在国家地震局科技监测司的领导和资助下,由安徽省地震局和吉林大学计算机科学系合作完成的。吉林大学计算机科学系赵瑞清教授和他指导的研究生王晖同志参加了本系统的研制并做了大量的工作,在此一并致以感谢。

目 录

第一篇 专家系统简介

第一章	什么是专家系统	(3)
第一节	人工智能及专家系统发展简史	(3)
第二节	什么是专家系统	(6)
第三节	专家系统的基本结构	(8)
第四节	专家系统的特性及其研制过程	(13)
第二章	专家系统中的知识表示	(18)
第一节	逻辑表示法	(18)
第二节	产生式表示法	(20)
第三节	框架表示法	(22)
第四节	语义网络表示法	(24)
第五节	过程表示法	(26)
第六节	特征表表示法	(26)
第三章	不精确推理方法	(28)
第一节	MYCIN不精确推理	(29)
第二节	主观Bayes方法	(36)
第三节	Dempster/Shافر的证据理论	(46)

第二篇 地震预报专家系统(ESEP/PC)

第四章	地震预报专家系统(ESEP/PC)的总体设计及其知识表示	(61)
第一节	系统的总体设计	(61)
第二节	知识模型ESEP/M	(71)
第三节	领域知识的表示	(81)

第四节	异常证据可信度的确定及其知识的类框架表示.....	(84)
第五节	地震预报知识的获取.....	(91)
第六节	地震预报知识的其他表示方法.....	(94)
第七节	知识的一致性检查.....	(97)
第五章	推理系统.....	(99)
第一节	调度.....	(99)
第二节	推理机.....	(103)
第三节	ESEP/PC中的不精确推理.....	(109)
第六章	解释子系统.....	(120)
第七章	实际震例与资料的检验.....	(125)
第一节	震例资料检验.....	(125)
第二节	实际预报的检验.....	(132)

第三篇 ESEP/PC使用手册

前言.....	(139)
§1 编辑异常证据库.....	(141)
§2 全局推理.....	(149)
§3 分区推理.....	(150)
§4 显示与打印系统推理结论.....	(152)
§5 解释系统.....	(154)
§6 编辑系统结构知识及调度规则.....	(160)
§7 编辑一般规则知识库.....	(171)
§8 编辑“规则/框架”知识库.....	(178)
§9 编辑确定证据信度知识库.....	(185)
§10 编辑静态数据库.....	(188)
§11 知识库的一致性检查.....	(192)

第一篇 专家系统介绍

www.ertongbook.com

第一章

什么是专家系统

第一节 人工智能及专家系统发展简史

“空间技术”、“能源技术”和“人工智能”是现今世界上的三大尖端技术。不论是欧洲共同体的尤里卡计划，美国的Star计划，还是我国的“86.3”计划都是以这些技术作为其核心部分。尤其对于人工智能，由于她具有延伸人脑的特殊功能，她的潜在能力已越来越多地被人们所认识，不少专家估计她可能会给人类带来一次新的技术革命。作为一门新兴的学科，人工智能创始于1956年，三十多年来她取得了巨大的进步，但也经历了一场艰苦曲折的发展道路，至今仍然是世界上争议最大的学科之一。为了帮助了解“人工智能”、“专家系统”这一学科的特点，笔者认为了解一下这一学科的发展史是不无裨益的。

自电子计算机问世以后，不少科学家把计算机技术与本学科的专业结合起来开展有关领域方面的边缘性研究。例如利用词意及一般的语法规则，IBM公司于1954年7月在701机上对自然语言的机器翻译(俄译英)作了公开表演。1956年Newell和Simon等人编制了计算机程序 Logic Theorist，用它来作计算机定理证明，证明了数学原理第二章52条定理中的38条定理。于此同时，Samuel研制了跳棋程序，该程序具有学习功能，可在实践中提高棋艺。具有智能特性的计算机程序的初步成功给了这些科学家以

巨大鼓舞。1956年由Mc'Carthy, Minsky等十位计算机科学家、数学家、信息学家、神经心理学家在Dartmouth学院召集了一次会议，正式给有关这一领域的研究取名为“人工智能”(Artificial Intelligence或缩写为AI)。当时，这些科学家认为智能行为从根本上说是建立在聪明的推理技术基础之上的，而且对这一学科方向作了非常乐观的估计，认为在今后25年之内我们将全部卷入到计算机可以做各种工作的开创性的活动中去。自此以后的跳棋程序在经过改进后，于1959年战胜了程序设计者Samuel本人，而Logic Theorist也在改进后于1962年证明了数学原理第二章的全部52条定理。1962年 Newell等人开始研究不依赖具体领域的GPS(General Problem Solving)系统。1963年Slogle发表了具有大学水平的符号积分程序SAINT，用86道积分题做实验做出了84道题，取得了圆满的成功。1965年Robinson提出了与数理逻辑中的自然演译法完全不同的消解法，给计算机定理证明掀起了一个新的高潮。但是后来发现人工智能所遇到的困难比原来人们想象的要困难得多。不论是机器定理证明程序，还是下棋程序，人们发现它们的推理能力都是有限的。这些建立在推理技术基础之上的程序对复杂问题都遇到了“组合爆炸”的问题，而关于自然语言理解的机器翻译程序则由于词的多义性而闹出了大笑话。把“The spirit is willing but the flesh is weak”(心有余而力不足)翻译成俄语后再译成英文则成了“The wine is good but the meat is spoiled(酒是好的，肉是臭的)。这一系列的失败使人们对人工智能的研究丧失了信心，于是有人说美国用2000万美元为机器翻译树立了一块墓碑。连IBM公司也取消了人工智能的研究，因为它解决不了实际问题。1971年剑桥大学的Lighthill爵士在应英国政府要求而写的关于人工智能问题的报告中说：“到现在为止还没有发现在这一领域中产生了预期的主要效果……”。这一报告使英国暂时中止了人工智能的研究，同时在美国

也产生了类似的效果。

然而，50—60年代的人工智能研究并非一无是处，人工智能科学家们冷静地坐下来总结前一时期的教训，结论是：必须检讨过去的战略思想。老一辈的人工智能专家的指导思想是要在研究总结人类思维的普遍规律的基础上，建立一个通用、万能的符号逻辑体系，用逻辑演译方法进行推理并用计算机模拟实现以解决问题。在这一系列的失败面前，这一观点受到了年轻一代的挑战，他们认为万能的逻辑体系实际上是不存在的，旧战略思想的最大弱点是没有运用人类文明史中积累起来的知识。人们在实际生活中是依据知识而不是依据抽象原则作推理行事的。对旧的逻辑推理体系来说，就避免不了“组合爆炸”的问题。斯坦福大学的费根鲍姆(Feigenbaum)教授就是这一观点的代表。他从这一思想出发开创了人工智能的一个重要应用领域(以知识为基础的专家系统)并取得了成功。他所研制的 DENDRAL 系统具有一定的自学习功能，能根据质谱仪的数据来推知物质的结构。它不仅可代替人类专家的工作而且还推出了二个当时人们还不知道的物质结构。DENDRAL 系统的成功，大大鼓舞了人工智能专家的信心。在它的影响下，70年代在一些学科领域相继研制成功一批专家系统。比较著名的有MYCIN医疗诊断系统，PROSPECTOR地质探矿系统……等。费根鲍姆为这一新领域起名为：“知识工程”，并于1977年第五届国际人工智能大会上将其公布于世。到了80年代的后期专家系统的开发应用已经走出实验室，投入到商业的应用，成为软件产业的一个新分支：知识产业。

综上所述，人工智能的发展经历了一个艰难曲折的过程现在它已成为一项引起人们广泛注意的技术，许多应用正处在发展之中。目前，人工智能的研究领域极其广泛，几乎涉及到所有的重要学科，其内容大致包括：(1)机器学习；(2)自然语言理解；(3)模式识别与景物理解；(4)智能机器人；(5)定理证明；(6)

专家系统；(7)博弈；(8)绘画；作曲；(9)自动程序设计及程序正确性证明；(10)视觉与听觉……等。在所有这些内容中，当前在解决复杂的现实世界问题时，主要以专家系统的形式得到了广泛的应用。人工智能在经过了30年的发展以后，目前仍然是引起争议最多的学科之一。争论的焦点是智能的本质是什么？人工智能的研究到底应该以人类的普遍思维规律为主，还是以特定的知识处理和运用为主？但不管怎么说，大家都认为人工智能的研究是非常困难的。Minsky说：人工智能是有史以来最困难的科学之一，难就难在知识的浩繁，而最难对付的知识则是常识。

第二节 什么是专家系统

所谓专家系统是一个应用知识和推理以解决需要人类专家才能解决的困难问题的智能计算机程序，它所给出的解应能达到专家的水平。由此可见，专家系统内拥有大量的专家水平的领域知识和经验，应能应用人工智能技术及系统内存储的知识和经验，进行推理和判断，以模拟人类专家解决问题的过程。在专家系统的执行过程中，知识是个主要的因素，所以通常人们称它为知识基系统(Knowledge Based System)。

由于专家系统是解决需要由人类专家凭借他们的经验和知识来处理的问题，而专家经验与领域知识往往具有不确定性，推理过程又是复杂的，所解决的问题难于形式化和转换为计算问题，因此专家系统的程序不是通常的计算程序而是一种复杂的符号推理系统，它通常与缺少“严格性”、“准确性”相联系。评论一个专家系统的好坏，一般指的是在实际运用中与专家意见是否一致方面的符合率，而不是系统所给出结果的准确率。这是因为专家系统给出的结果，取决于系统所获取的专家经验、知识和

系统模拟专家推理思路的一致性。除非系统本身具有良好的自学功能（这是一个目前尚未解决的难题）来不断地总结经验，创造新的知识，否则系统本身是不会有新的发现。所以就专家系统本身的质量而言，模拟专家的思路、经验和知识越贴切，它的质量就越高。

专家系统是利用领域知识进行问题求解，它与传统的科学与工程计算问题有明显的不同。后者本质上是计算问题，它的解是确定的；而前者所涉及的是符号和概念，它不能保证给出正确的解，就象人类专家在求解问题时一样，允许有某些错误的解。另一方面，专家系统程序问题求解过程中要广泛使用领域知识，为便于知识的更新和搜索，所以专家系统的知识库与推理机相互独立；而传统的计算程序则把领域知识和运算控制紧密地结合起来，这样就会牵一发而动全局使程序难以修改。为了帮助初学者摆脱旧的计算机运算程序的框框，了解专家系统程序的特点，我们把它们之间的差异作一比较，如表1所示

表1 专家系统程序与传统程序的比较

专 家 系 统	传 统 程 序
1. 符号处理程序 2. 用启发式搜索求解（解的步骤在程序中表现不明显） 3. 通常控制结构与领域知识分开 4. 易于修改、更新和扩充 5. 允许有不正确的答案 6. 只要是符合专家意见的答案便可接受	1. 数字处理程序 2. 算法演算（解的步骤在程序中表现明显） 3. 领域知识与控制在程序中结合紧密 4. 难以修改 5. 要求给出正确答案 6. 需要得到最佳的可能解

根据这一对比，我们可以看出衡量专家系统的质量，应该是以推理结论与专家意见的符合程度作为标准。一般专家系统通常

有以下三个特点:

(1) 具有启发性

即它可运用专家的知识与经验进行推理和判断。这一点很重要,因为世界上的大部分工作都是非数学性的,只有很小一部分活动是以我们在工程和物理运用中所看到的那种公式作为核心。

(2) 具有透明性

也就是系统能够解释本身的推理过程,能回答用户提出的问题,从而使系统对用户透明。

(3) 具有灵活性

也就是它能不断地增长知识和修改原有的知识。

第三节 专家系统的基本结构

专家系统是一个基于知识的问题求解程序系统,通常可由以下五部分组成。

一、知识库

它是用于存放专家的经验 and 知识。通常知识可分为二种形式:

(1) 事实性知识,即由常识或书本知识所构成的普通事实;(2) 启发式(heuristic)知识,它是在领域中有正确的实践和判断的知识,是经验性知识。

一个专家系统性能的好坏取决于系统内表示知识的方法及其知识库中知识的数量与质量,也就是知识库中知识的可用性、正确性和完整性。知识的正确性与完整性取决于领域专家,而知识的可用性(即知识在计算机中的存放与调用性能)既与领域专家有关,又与计算机专家有关。在计算机中对专家知识的表达称为知识表示,知识表示与知识获取是一项极其重要的工作,费根鲍姆称其为建造专家系统的“瓶子口问题”,目前仍然是人工智能研究