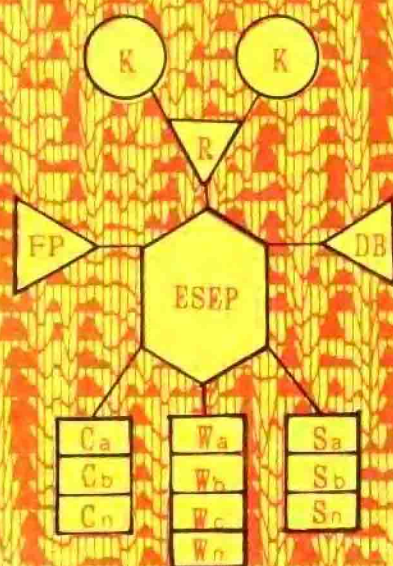


专家系统及其在地震预报中的应用

王碧泉 范洪顺 陈佩燕 王春珍 杨锦英 著



中国科学技术出版社

专家系统及其在地震预报中的应用

王碧泉 范洪顺 陈佩燕 王春珍 杨锦英 著

中国科学技术出版社

• 北 京 •

(京)新登字175号

图书在版编目 (CIP) 数据

专家系统及其在地震预报中的应用 / 王碧泉等著. - 北京: 中国科学技术出版社, 1993.12

ISBN 7-5046-0800-9

I. 专...

II. 王...

III. ①专家系统-应用-地震预报②地震预报-应用-专家系统

IV. P315.7

中国科学技术出版社出版

北京海淀区白石桥路32号 邮政编码: 100081

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

顺义县后沙峪印刷厂印刷



开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 7.5 字数: 196千字

1993年12月第1版 1993年12月第1次印刷

印数: 1—1000册 定价: 7.00元

内容提要

本书阐述了专家系统的设计思想、主要结构、知识表示、推理模型等基本原埋。结合作者近几年的研制成果，本书还系统论述了地震预报专家系统 (E S E P) 的建造原理和方法。

本书既适合于从事专家系统研制及其在地震学中应用的广大地震科技工作者阅读，又可供各领域从事专家系统研究和建造的科技人员和大专院校有关师生参考。

责任编辑：宋守全 胡 萍

正文设计：关云洁

封面设计：肖承邺

目 录

前 言	(1)
第一章 导论	(5)
第一节 什么是专家系统	(5)
第二节 专家系统发展概述	(8)
第二章 专家系统的设计及主要结构	(14)
第一节 专家系统的设计	(14)
第二节 专家系统的主要结构	(21)
第三节 ESEP的结构、子系统和各模块的功能	(25)
第三章 知识表示	(34)
第一节 关于知识	(34)
第二节 知识表示	(42)
第三节 ESEP的知识表示模型和专家知识库	(96)
第四章 地震预报专家系统的推理	(100)
第一节 专家系统的推理	(100)
第二节 ESEP的证据组合	(107)
第三节 ESEP中的MYCIN式推理模型	(113)
第四节 ESEP中的证据理论推理模型	(119)
第五节 ESEP中的主观Bayes推理模型	(132)
第六节 ESEP中的CASNET式推理模型	(142)
第七节 AHP决策方法	(150)
第五章 地震预报专家系统的数据库、 方法库和绘图显示	(160)
第一节 ESEP的数据库	(160)
第二节 ESEP的方法库	(170)
第三节 ESEP的绘图及显示	(172)
第六章 地震预报专家系统的应用	(174)
第一节 ESEP中长期预报系统的事实准备	(174)

第二节	信度CF的归一化方法	(188)
第三节	ESEP在中长期地震预报中的应用	(194)
第四节	ESEP在强震危险区判定中的应用	(202)
第七章	地震预报专家系统操作说明	(212)
第一节	系统安装	(212)
第二节	ESEP (IG) 运行的主要过程和菜单	(213)
第三节	ESEP (IG) 的操作说明	(216)
参考文献		(231)

前 言

“能推理的动物终于造出了能推理的机器”(E.A. Feigenbaum, 1983)。人工智能自20世纪50年代中期开创以来,如今已发展成为一门新兴的、综合性的学科。“专家系统”是人工智能的三大重要支柱之一。自E.A. Feigenbaum等1965年着手研究专家系统DENDRAL以来,使人工智能开始朝着以知识库为基础的方向转变,从寻求有关思考的一般法则转变为意识到特定的知识——事实、经验以及这些信息之间的关系——成为智能行为的中心问题。20多年来,专家系统已从其初创时期进入到成熟期,它已突飞猛进地发展成为一门年轻的科学,并已广泛应用于医疗诊断、地质勘探、生物、化学、数学、物理、气象等众多的领域中。其中许多专家系统已经推广使用并已达到了该领域专家的水平,在某些方面甚至超过了同领域专家的水平。

专家系统在许多领域的成功以事实回答了人们对“有了专家为什么还要建立专家系统”的疑问。正如人工智能初创时期人们曾花大量时间热烈争论机器是否能思考、能推理的问题一样,随着奕棋和解谜智能程序的出现,尤其是其后十多年专家系统的问世,虽然这个问题尚有争论,但大多数人则已有了答案。人类的重大变革从来都不是完美无缺的,即使是农业革命也产生了一些意想不到的副作用,但人们决不会希望再回到狩猎与采集的时代去。我们正处在第二次计算机革命的时期,它是由处理数据的计算机向处理知识的智能计算机过渡的革命。“专家系统是第二次计算机革命的代表作”。诚然,专家系统也有缺点,但它成功的光辉已使人们认识到专家系统不仅已成为各领域专家的有力助手,而且它已经走向经济、商业和市场,并用于提高企业的生产率和增加利润。显然,专家系统的研究无疑是意义重大的。

虽然我国曾成功地预报了1975年的海城地震，而在1976年唐山大地震前人们却所知甚少。至今地震预报在世界上仍是一个尚未解决的科学难题。然而地震预报也正是可以建立专家系统的复杂问题之一。这是由于一方面目前地震预报尚无确定的、公认的理论模型，还不能用数学方法直接求解或作数值预测，而建造这方面的专家系统则可能开辟新的途径；另一方面，我国有丰富的历史资料，在地震预报方面也已有多年的实践，具有丰富的经验，并有像海城地震这样成功预报的震例，可提供专家经验和专家知识，这就为建立地震预报专家系统奠定了基础。

国家地震局地球物理研究所等单位于1986年5月开始着手研制“地震预报专家系统”(Expert System for Earthquake Prediction, 简称为ESEP)。该系统于1989年5月完成并于同年11月1日通过了国家地震局组织的专家鉴定。这是我国第一批研制的地震预报专家系统之一。国家地震局组织的专家鉴定意见认为：ESEP“各项工作内容均达到了合同要求”，“该系统是我们首批研制的地震预报专家系统之一。所取得的进展是令人鼓舞的。它不仅是我国地震预报智能化的一次尝试，而且将对地震预报的深入发展起很大的促进作用，该项技术在计算机专家系统技术与地震预报研究的结合方面达到了国际先进水平。”

ESEP是在地震学领域内、在该领域专家知识的基础上，用多种模型进行推理，然后决策，最后进行地震中长期预报、年度预报及中短期预报的计算机专用系统。ESEP包括3个子系统：中长期预报系统、年度预报系统和短期预报系统。每一子系统均由7个模块组成：总控模块、数据库、专家知识库、方法库、事实准备模块、推理和决策模块、绘图显示模块等。关于ESEP的结构、子系统及各模块的功能详见本书第二章第三节。

ESEP中建立了知识表示模型ESEP/K(参看第三章)和推理模型ESEP/R(参看第四章)，并提出了限制(CON)、加权(W)和综合(SYN)等三种新的证据组合方式(参看第四章)。

ESEP所达到的主要技术指标为：

①建立了规模庞大的数据库。其中仅地震目录库就有39万多条地震目录。

②广泛收集、总结了地震学中行之有效的预报方法并提炼为专家知识，共有规则约300条。

③建立了可扩充的专家知识库。

④有完整的方法库。包括多个程序包约几十个程序。

⑤可用人机对话灵活地输入300多个底层事实。全国年度预报系统中还有机器自动获取知识的功能。

⑥ESEP建有动态知识库。

⑦本系统可对规则进行增、删和修改。

⑧ESEP结合地震预报的特点，自行设计了3种新的证据组合方式：CON，W，SYN，有所创新。

⑨本系统可容纳不同的意见。如中短期预报系统中每一前兆（N、b、空区、条带、…）均可容纳5个专家的意见。

⑩ESEP的推理机采用了4种较好的推理模型进行推理，并用层次分析法作综合决策，从而达到较好的智能推理。

⑪ESEP有优秀的解释功能。

⑫可配套地进行中长期、中短期及全国年度预报，实现了体系化。且后两者是以前者的结果为背景的。

⑬ESEP有扩充至短临预报的功能。

⑭本系统为模块化系统，由菜单进行统一管理。ESEP还实现了交叉程序设计。

⑮ESEP具有友好的用户界面及完整的输入输出系统，使用灵活、方便。

ESEP已实际应用于地震预测工作中。在1988年中、1989年初及1989年中三次全国会商会上，提交了有关预报意见的报告，相继对1988年11月6日澜沧7.6级地震，1989年4月16日巴塘6.6级地震及9月22日小金6.6级地震作出了中长期趋势预测。有关人员

对这几次预报效果的评价是：“从近两年地震趋势预测的实际检验看，该系统有较好的预测效果。”

为推广应用ESEP，我们于1990年12月17日至25日举办了“专家系统及其应用研讨班”，向国家地震局所属的25个单位推广了共33份ESEP系统的软件。在此研讨班讲义及“地震预报专家系统ESEP研制报告”的基础上，经补充、修改，撰写了本书。我们希望本书的出版能为推进专家系统在地震学中的应用贡献一份力量，也希望它能为其他领域研制专家系统的科技人员提供参考。

ESEP是在国家地震局科技监测司的领导和支持下，由国家地震局地球物理研究所、北京工业大学、中国科学院生物物理研究所等单位的18名科研人员（详见第二章第一节）共同研制完成的。借此机会，我们对支持本系统研制工作的国家地震局领导、科技监测司、3个研制单位的领导及有关部门，以及对本系统的研制提供咨询和帮助的所有专家和有关人员一并表示感谢！

本书各章撰写人如下：第一、二章：王碧泉，第三章：范洪顺，第四章：王碧泉、范洪顺，第五章：陈佩燕、王春珍、杨锦英，第六章：王碧泉、范洪顺，第七章：范洪顺。王春珍承担了本书有关图件的绘制工作。

本书难免有疏漏之处，恳切地欢迎读者批评指正。

作 者

1992年于北京

第一章 导 论

专家系统 (Expert System) 简称为ES。它是近20多年来迅速发展起来的一门学科。目前它已广泛应用于许多领域中。

本章概述什么是专家系统, 人工智能及专家系统发展概况以及专家系统的组成等。

第一节 什么是专家系统

一、什么是专家系统

简单地说, 专家系统就是可以模仿某领域的人类专家进行推理并解决该领域复杂问题的计算机系统。其核心的部分是知识 (Knowledge) 和推理 (Reasoning)。也有人将专家系统简要地定义为: 知识 + 推理 = 专家系统。

通常, 一个“人类专家”必须具有两方面的条件: ①在他所从事的专业领域内有丰富的、高深的知识; ②有广泛的实践经验, 通过自己的判断、推理, 能解决他所从事的领域内的实际问题。因此, 一个模拟人类专家的“专家系统”应是这样的一个系统:

A. 它能处理现实世界中提出的需由专家来分析判断的复杂问题。

专家是解决该领域专门问题的能手。他们的能力首先来自于他们掌握的处理复杂问题的丰富的专门知识。因此, 基于计算机的专家系统必须收集足够的专家知识。

B. 专家系统要模拟专家的推理过程, 得出的结论应和专家相同。

专家系统就是要模拟专家对具有不确定性的问题进行分析、判断、推理的过程, 因此, 一个完整的专家系统不可缺少的部分是

推理机。推理机模拟专家利用知识进行推理。当专家系统所要解决的问题和专家所要解决的问题相同时，专家系统应该通过推理得到与专家相同的结论。

二、为什么要建立专家系统

既然有人类专家可以解决专门问题，为什么还要建立专家系统呢？其目的可以归纳为如下几点：

1. 使专家知识形式化

人们要建立专家系统的领域常常是这样一些领域，即在这些领域里专家们有丰富的实践和经验，但尚没有形成系统、完整的见解。也就是说，人们的知识还落后于专家的经验 and 实践。专家系统则可以帮助从这些经验中获取知识，将知识形式化。这个将知识形式化的过程也就是逐步明确如何去解决问题的过程。

2. 建立推理模型

对于专家系统要解决的这类复杂问题，专家们常常只能非正式地或不准确地说明他们的推理过程，因此尚没有或无法建立典型的数学模型来进行计算分析。而专家系统技术则可以帮助建立合适的推理模型，并试验各种把事实组合起来以产生专家推理结果的途径，对专家的推理决策过程进行试验和模拟。

3. 综合多个专家的知识及推理过程

在某一领域内，专家用以解决同一问题的方法和途径可以是不同的。专家系统有助于比较和判别这些不同的方法，或者综合多个专家的知识 and 推理过程。在国外，如MYCIN和CASNET等医疗专家系统中在建立其推理模型时使用了几个专家的知识。又如我们建立的地震预报专家系统（ESEP）就是一个能综合多个专家意见的系统。

4. 便于传播专门知识和推广专家经验

由上述三点可以看到，建立专家系统的过程也是一个利用先进的专家系统技术将知识形式化并逐步明确如何利用知识进行推理的过程。在这个不断完善的过程中使专家系统能达到人类专家

的水平。事实上目前许多专家系统均达到了同类专家的水平。

由于专家的数量少，远不能满足实际需要，而且培养和雇用专家的费用昂贵，因此，建立达到人类专家水平的专家系统就便于在较大范围内传播专家经验，推广专门知识，甚至代替一些专家进行推理决策，解决现实世界中提出的问题。

以上就是为什么有了专家我们还要建立专家系统的原因。

三、专家系统与一般程序的区别

专家系统虽然也是一种计算机软件系统，但它与通常传统的应用程序、一般的资料库系统和知识库系统是不同的。专家系统发展20多年来，它已独具一格，从数学模型、系统构成、处理对象、程序性质、编程过程、系统功能等多方面都形成了自己的一系列特点。下面简述专家系统与一般程序系统的区别。

A. 专家系统处理的是无确定的理论模型或求解方法的问题。一般的应用程序常常是对给定的理论模型和（或）求解方法进行编程的。专家系统所解决的领域问题往往是下面这种类型的复杂问题：①这类问题没有确定的理论模型，还不能用数学方法直接求解；另外，这类问题又难于形式化，难于形成一个计算问题。②这类问题之所以复杂还在于它常常具有多义性和不确定性。

B. 专家系统除必须有知识库外，还必须有推理机。这就使专家系统不同于一般的程序系统、数据库系统和知识库系统。在通常的程序系统中常常既无知识库也无推理机。在一般的数据库系统或知识库系统中，只是存贮数据或知识，或者还存贮答案，人们从中搜索答案。但专家系统中所存贮的不是答案，而是知识和进行推理的能力，只有对系统进行运行才能得出结论。

C. 从处理对象来看，专家系统处理的是“知识”，而一般程序处理的则是“资料”。资料可以是一批数据，而“知识是以各种方式把一个或多个信息关联在一起的信息结构”，即知识是一个或多个信息之间的关系。

D. 从程序性质上看, 专家系统是符号处理程序, 而一般程序则是数据处理程序。

E. 从系统的功能上看, 专家系统易于增、删、修改、扩充和更新, 具有解释功能。而一般程序则不易于修改, 无解释功能。

关于专家系统与一般程序的比较简列于表1.1中。

表1.1 专家系统与一般程序的比较

	专 家 系 统	一 般 程 序
1. 从数学模型看	无确定的理论模型和求解方法	有确定的理论模型和求解方法
2. 从系统构成看	由知识库、推理机等构成	有的有知识库, 但都无推理机
3. 从处理对象看	对付的是“知识”	处理的是“资料”
4. 从程序性质看	是符号处理程序	是数据处理程序
5. 从系统的功能看	易于增、删、修改、扩充和更新, 有解释功能	不易于修改, 无解释功能

第二节 专家系统发展概述

人工智能是当前世界高科技之一。专家系统、模式识别和智能机器人并列为人工智能的三大研究方向。为此, 本节在阐述专家系统发展概况以前, 先简介一下人工智能的发展。

一、人工智能及其发展

人工智能 (Artificial Intelligence) 简称为AI。什么是人工智能, 要给它下定义是十分困难的。一般说来, 人类活动都需要“智能”。如解题、猜谜、对话、编程序、驾驶汽车等等。若机器或计算机来执行这些任务, 就可认为机器或计算机具有某种程度的“人工智能”。目前, 我们倾向于采用傅京孙或林尧瑞对人工智能的定义: “人工智能就是机器 (计算机) 执行某种与人的智能有关的复杂功能 (如判断、预测、图象识别、理解、学

习、规划和问题求解等)的能力。”(傅京孙等,1987年)。或说“人工智能是研究如何制造出人造的智能机器或智能系统,来模拟人类智能活动的能力,以延伸人们智能的科学”(林尧瑞等,1989)。

人工智能是50年代中开始发展起来的一门新兴的、综合性的学科。人工智能发展的背景是什么呢?众所周知,18世纪从欧洲开始了第一次工业革命,蒸汽机、内燃机及各种电机相继问世,代替了人的手工操作,汽车的发明使人类行走的速度从步行每小时6公里提高了一个数量级。总之这些伟大的发明使人类的手和足得到了延伸。20世纪50年代以来人类开始了第二次工业革命,在这一时期发明了计算机;在科学上,控制论、信息论、通讯工程、人工智能等高科技迅速发展。这次革命使人类的脑力或说智能得到了延伸。这就是人工智能发展的历史背景。

人工智能的诞生可追溯到50年代中期。1956年夏季,在美国Dartmouth大学,由年青的数学助教J.McCarthy和他的三位朋友:年青的数学家和神经学家M.Minsky、N.Lochester和C.Shannon共同发起,邀请了数学、神经心理学、心理学、信息论、计算机科学等方面的10位学者,进行了两个月的夏季讨论班。在这次会议上第一次使用了AI的术语。这次会议是一次划时代的会议,它开创了人工智能研究的新方向。

1956年至1961年是人工智能发展中的形成时期。在这一时期的主要发展有:1957年A.Newell等编出了数学定理证明的程序,证明了“数学原理”一书中第二章的38个定理;1960年他们又编出了能解10种类型不同课题的通用问题求解程序;A.Newell

关于自适应象棋机的论文和H.Simon关于问题求解和决策过程中合理选择和环境影响的行为理论的论文是当时信息处理研究方面的巨大成就;1956年A.Samuel研究的具有自学习、自组织、自适应能力的西洋跳棋程序也是有影响的工作;1959年J.McCarthy发明的表(符号)处理语言LISP,成为人工智能程序设

计的主要语言；此外，1956年N.Chomsky的文法体系，1958年O.Selfridge等人的模式识别系统程序等，都是极有影响的。

1961年以后则是人工智能迅速发展的时期。1965年J.A.Robinson提出了归结原理，推动了自动定理证明这一方向的发展。70年代初，T.Winograd、R.C.Schank和R.F.Simmon等人在自然语言理解方面做了许多发展工作。1965年E.A.Feigenbaum等开始研究专家系统DENDRAL，使人工智能朝着以知识库为基础的方向转变，从寻求有关思考的一般法则转变为意识到特定的知识——事实、经验以及这些信息之间的关系——成为智能行为的中心问题。专家系统的发展使人工智能摒弃了只注重一般思考法则研究的道路而走上实际应用的道路，专家系统的发展使人工智能研究获得了新的活力，得以继续向前推进。当然，专家系统只是人工智能中的重要分支科学，在这一时期，人工智能还在智能机器人、自然语言理解和自动程序设计等方面取得了不少进展。

为推动人工智能方面的学术交流，1969年成立了国际人工智能联合会IJCAI(International Joint Conference on Artificial Intelligence)并举行了第一次学术会议，以后每两年召开一次会议，至今已召开了11次会议。

我国1978年才开始人工智能课题的研究，并在定理证明、汉语自然语言理解、机器人及专家系统方面取得了一批成果。中国自动化学会模式识别与机器智能专业委员会于1980年4月在武汉主持召开了第一届全国模式识别及机器智能学术会议，以后每1年半召开一次会议，至今已举行了9次会议。这些交流，对人工智能研究都起了推动作用。

二、专家系统发展概况

世界上第一个专家系统DENDRAL于1965年开始建立。A.Feigenbaum刚到斯坦福大学后不久，他遇到了一个志同道合的天才——遗传学教授和诺贝尔奖金获得者J.Lederberg，开始