

907239

EXPERT SYSTEM

要天气预报专家系统

江苏省气象局专家系统编写组 · 气象出版社

重要天气预报专家系统

江苏省气象局专家系统编写组

气象出版社

内 容 简 介

专家系统是人工智能的一个重要分支，目前已在气象领域中得到广泛应用。

本书是应用专家系统的实例。全书共分五章，在前四章中，按构成专家系统的基本部件，分别进行描述和讨论；第五章详细地介绍了一个用 micro-PROLOG 语言编制的专家系统实用外壳。

本书特点是在专家系统的基本原理的基础上，结合实例介绍了具体实现的方法和程序设计技术，并对所采用的技术进行评价，提出了改进意见。

本书适合各个专业从事专家系统设计的科技人员，适合气象部门从事微机开发和应用的有关人员。

重要天气预报专家系统

江苏省气象局专家系统编写组

责任编辑 黄丽荣

北京密云华都印刷厂印装

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

气象出版社发行 全国各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 印张：8.75 字数：195千字

1989年6月第一版 1989年6月第一次印刷

印数：1—3000

ISBN 7-5029-0233-3/TP·0010

定价4.40元

序 言

随着电子计算机和计技算术的进步,人工智能学得到了发展。到60年代末70年代初,出现了人工智能的一个重要分支——专家系统,1981年10月日本宣布研制第五代计算机的计划之后,各国的人工智能研究工作竞相发展。特别是近几年来,专家系统已成为人工智能开发研究中最活跃的一个分支,它已由原来的医学、化学等领域扩展到机械、造船、建筑、电力、商业、金融、探矿、气象等许多行业。目前,美国、日本已分别研制出“LISP和PROLOG”语言的专用机。另外,单一功能的专家系统“外壳”也已投放市场,大大促进了专家系统的开发应用。但是,对于气象专家系统,特别是气象预报专家系统,除美国进行了一些初步探索外,还没有见到其他国家的材料。

我国气象部门于70年代末开始在天气预报方法研究中引进人工智能技术,做过一些有益的探讨。但是,由于它未能和气象预报专家的经验知识相结合,因而进展缓慢,未能推广应用。1985年以来,情况发生了显著变化。由于人工智能技术与我国气象预报人员的丰富实践经验知识相结合,使我国天气预报专家系统的研制工作得到迅速发展,并在短期天气预报业务工作中首先得到应用,取得明显效果,形势越来越喜人。尽管目前对专家系统的定义不一,但从气象应用的角度来看,可以说,气象预报专家系统是气象预报专家的丰

富的经验知识与人工智能技术相结合，通过电子计算机实现的产物。

江苏省气象部门是我国研制和应用天气预报专家系统最早的几个省份之一。早在80年代初期，江苏省气象局就组织了30多名全省的预报业务技术骨干，紧密结合江苏的天气气候特点，针对影响江苏的天气系统分若干专题对广大预报人员在长期实践中积累的丰富的天气预报经验，进行全面系统的总结，经过数年努力，提炼出一批经过实践检验证明是有效的重要天气预报模式及其预报规则。这项基础业务建设工作，为后来该省的气象预报专家系统的研制和业务应用打下了坚实的基础。

结合江苏天气实际，根据预报和服务的需要，以重要、灾害性天气和天气系统为重点，是江苏省气象部门研制天气预报专家系统的基本特点。他们注重应用，采取开发一个投入业务应用一个，并在预报业务应用中检验、优化和提高，经历了实践—认识—再实践的过程，使气象预报专家系统的研制和应用不断向前发展。

继1984年底省气象台推出江淮气旋、梅汛期暴雨和台风集成预报三个专家系统之后，这几年，省气象台和苏州、盐城、南通、淮阴、徐州等市气象台又先后研制成寒潮、冰雹、春秋季节连阴雨、沿海大风、洪泽湖大风等预报专家系统。

上述各预报专家系统在日常业务，特别是在灾害性天气预报中，显示出较好的预报能力。如1985—1987年出现的27次江淮气旋，专家系统报出了24次。又如1987年梅汛期出现的8次暴雨过程报出6次（时效18—24小时），14次区域性暴

雨，专家系统报出了10次。空报现象极少。台风集成预报专家系统对8506，8615，8707等号台风的路径和风雨影响也都作出了比较准确的预报（时效24小时）。几年的业务应用表明，气象预报专家系统的预报能力和预报质量达到甚至超过经验预报的水平，收到了较好的社会、经济效益。由于它吸收和发扬了经验预报的长处，具有本省的特点，预报人员乐于接受，已成为新老预报员制作灾害性天气预报的重要依据。

研制有效的天气预报专家系统并非易事。它首先要对老预报员提供的预报经验进行严格的检验、筛选和评价，要以新的知识表示方法对经过提炼的经验知识进行规格化处理，使之能被计算机识别以建立知识库。为了模拟预报员制作预报的辩证思维过程，需要设计既能灵活选择适当的搜索控制策略，又能进行综合判断决策的推理机。为了能够在应用实践中收集信息反馈、扩充新的知识、改善系统性能，以不断提高系统的质量，又需要构造能记忆、评价、生成知识的自学习系统。本书作者在研制和应用实践中初步取得了一些经验，并将他们的经验和心得体会编写成江苏《重要天气预报专家系统》一书。希望本书的出版能对正在从事开发气象预报专家系统的同志有所借鉴和参考，起到经验交流和推动我国气象预报专家系统深化的作用。

气象预报专家系统是一个开放性系统，没有任何排它性。它可以集思广益，博采众长，将许多预报知识融为一体，起到相辅相成的作用。由于造成天气变化的原因很复杂，想用一种模式、一种方法和一方面的知识来解决复杂的天气预报问题是十分困难的。从目前天气预报技术的发展来看，以

数值预报、天气学和数理统计等多种方法，综合分析判断仍然是今后相当长时期内广泛应用的一种好办法。预报专家系统为发展综合分析判断技术创造了条件。所以，在气象预报业务中开发应用专家系统是必要的，是实现天气预报业务技术现代化的一种重要技术手段。

目前，我国天气预报业务正处在新老预报人员的交替时期，预报作业方式也处在较大变革时期。一大批具有丰富经验的预报人员正在从预报值班岗位退下来，而年轻的预报员又普遍缺乏预报实际经验。如不注意到这种情况，不采取有效的办法和措施，我国广大天气预报工作者在近40年中积累起来的丰富经验，有失传的危险，这将会给天气预报业务带来很大损失。因此，总结、提高、继承和发扬预报员的实践经验，是当前天气预报工作的重要任务之一，研制天气预报专家系统，是以预报实践经验为基础，为解决这个问题提供了一条较好的途径。

预报专家系统还便于吸收应用新的科研成果，有利于增强分析问题的客观性和全面性，减少主观片面性。它能及时提醒预报值班人员全面细致地分析思考天气变化过程，防止因紧张、疲倦或疏忽、遗忘而出现差错，还可以克服因前次预报失误而产生的心理障碍。

预报专家系统便于积累和总结经验，由于它能较好地记录预报依据和结果，为分析预报成功和失误的原因及补充，修改预报知识，不断提高预报能力，创造了有利条件。

气象预报专家系统尽管有这样一些好处，但其开发应用目前仍处于初级阶段，还存在不少问题。例如，知识库的内容有限、推理模型比较简单、自动化程度低、自学功能差。

换句话说，开发和应用气象预报专家系统还存在相当大的潜力，希望从事这项工作的同志，继续努力，持之以恒，付出更多的创造性劳动，取得更大的成绩。

最后，值得指出的是，本书的四位主要执笔者都是青年同志，他们思想活跃，勤奋学习，努力工作，勇于改革创新，在开发江苏省气象预报专家系统的实践中崭露才华。他们的成长，使我们看到了气象事业的未来。希望年轻的预报人员要与有经验的老预报员紧密合作，互相学习，各尽所长，协同努力，只有这样才能使开发的气象预报专家系统既有一定深度又有较强的预报能力。

章 基 嘉

1987年10日于北京

前 言

自1984年以来，江苏省气象部门在天气预报专家系统的开发上做了一些工作，并在业务应用中取得了较为满意的效果，因而受到了同行们的重视。为了总结和交流经验，促进气象预报专家系统开发工作的深化，在国家气象局和江苏省气象局领导的关心和指导下，于1986年初由江苏省气象局业务管理处蔡致元等同志组织协调，集中全省开发气象预报专家系统的技术骨干，组成了江苏省气象局专家系统编写组，将江苏省气象部门在该项工作中得到的初步经验和体会编写成《重要天气预报专家系统》一书。

本书共分五章，各章的主要执笔者是：第一、四章宗杰；第二章朱定真、杨金彪；第三章任健、杨金彪；第五章杨金彪。潘光照、周山松、刘立忠、汤立一、庞小琪等同志对本书的章节结构、内容安排、文字表达等进行过多次讨论、修改和审定。

国家气象局章基嘉副局长为本书写了序言；江苏省气象台，苏州、镇江、盐城、徐州等市气象局的同志为本书提供了素材；还得到了上海中心气象台的郭敏、杨礼敏、赖振成等同志的支持，在此表示感谢。

天气预报专家系统的发展与计算机技术发展紧密相联，是由低性能向高性能不断发展的。我们所做的工作虽已受到了同行们的重视，但难免有许多不完善之处，殷切地希望广大读者给予批评指正。

目 录

序言

前言

第一章 气象预报专家系统及研制简介	(1)
§ 1.1 专家系统.....	(1)
§ 1.2 气象预报专家系统.....	(2)
§ 1.3 气象预报专家系统的设计.....	(9)
§ 1.4 气象预报专家系统的实现.....	(16)
§ 1.5 江苏省气象预报专家系统的研制及应用概况.....	(19)
第二章 知识库	(25)
§ 2.1 知识的收集和整理.....	(25)
§ 2.2 知识库的建立.....	(37)
第三章 推理机的设计	(62)
§ 3.1 气象专家求解问题的方法.....	(62)
§ 3.2 气象专家系统求解问题的基本方法.....	(64)
§ 3.3 推理机制及推理机的实现.....	(72)
§ 3.4 推理机的设计.....	(107)
§ 3.5 解释.....	(113)
第四章 信息反馈与初级自学习	(120)
§ 4.1 专家系统中的学习问题.....	(120)
§ 4.2 简单记忆学习.....	(124)
§ 4.3 指点式学习.....	(130)
§ 4.4 评价精炼学习.....	(136)
§ 4.5 归纳学习.....	(144)
§ 4.6 个例学习.....	(152)

第五章 专家系统程序骨架FRAME-Ⅱ的设计	(158)
§ 5.1 FRAME-Ⅱ简介	(158)
§ 5.2 FRAME-Ⅱ的知识库	(161)
§ 5.3 FRAME-Ⅱ的推理机	(174)
§ 5.4 FRAME-Ⅱ的人机接口	(202)
§ 5.5 FRAME-Ⅱ的解释设施	(215)
§ 5.6 FRAME-Ⅱ的运行实例	(224)
附录 micro-PROLOG语言简介	(237)
参考文献	(267)

第一章 气象预报

专家系统及研制简介

目前专家系统已开始运用于气象科学领域，江苏省气象台站在专家系统应用研究方面做了大量的工作，并研制出一些气象预报专家系统。本章将结合江苏气象预报专家系统的研制实践，简要介绍气象预报专家系统及研制应用概况。

§1.1 专家系统

专家系统是人工智能科学的一个应用分支。人工智能科学是建立在计算机科学基础之上，研究怎样让计算机模仿人脑从事推理、规划、设计、思考、学习等思维活动的科学。

随着计算机科学的发展，人工智能科学在过去的几十年中取得许多重要的成就。60年代中期开始，一种能作为决策顾问的计算机程序出现了。由于它运用丰富的专家知识去解决需要专家才能解决的问题，被人们命名为“专家系统”。专家系统作为人工智能技术的一项重要应用，得到了很快的发展。

人工智能的研究者们编写出一类计算机程序，显示出人的智能行为。它们是根据某些具有明确定义和有明显非数值特征的问题编写的计算机程序。例如，1955年桑摩尔（Samuel）设计了一个下棋程序，该程序具有记忆学习功能，

四书后战胜了设计者本人，又过了三年，战胜了美国一个八年常胜不败的世界冠军。定理证明、求解数学难题的计算机程序都是这方面的例子。尽管这些程序显示了机器智能的可能性，但对于大多数困难而有意义的实际问题仍缺乏一般的处理方法。因为许多实际问题并非有非常严格的定义，对它们难以进行精确地描述和严格地分析。制定计划、医疗诊断、气象预报、地质勘探都是这类问题的例子。

为什么人能给出这些问题的解，而一般的计算机程序则不能？这是因为求解这类复杂问题，往往需要具备某些专门领域的高级知识。而这类知识在人类中一般也仅为在各自领域里被称为“专家”的人所掌握，一般的编程人员和编程技术难以使程序具备这些知识，而且专家们具备的被称之为经验的一类高级知识，更是经典程序设计所难以表达的。因此，人们正在逐步探索建立表达和应用知识的程序系统。专家系统编程技术的开发和应用，为求解复杂的非数值过程的问题提供了方法和手段，并在实际应用中发挥了较好的作用。

我国的专家系统已应用于医疗、地质、气象、石油勘探等许多领域。

§1.2 气象预报专家系统

广大的气象工作者，经过长期的天气预报实践，积累了丰富的理论和经验知识，对解决天气预报中的某些复杂问题有着熟练的技能和广泛的思路，他们可谓天气预报的“专家”。气象领域中这些专家的“专家知识”可被人们用来建立专家系统，解决气象领域中的复杂气象问题。

专家系统是一门在正发展的应用科学，应用于气象领域的时间则更短，所以，对于气象预报专家系统来说，至今尚无严格的定义。根据江苏省气象台站研制专家系统的实践，我们认为气象预报专家系统应是一个能根据气象预报的专家级知识和经验来解决气象预报问题的智能性程序系统。它的一般特征是：汇集众多优秀预报专家丰富的预报知识和经验；博采多种预测科学理论和计算机处理技术；采用数值计算和非数值运算相结合的方法；可以灵活地选择适当的搜索控制策略；能够有效地模拟预报专家进行预报决策的思维过程。

1.2.1 种类

气象问题的种类繁多，涉及的范围也较广泛，所以，气象预报专家系统的规模可大可小，功能亦可强可弱。大的可以是大范围的气象预报决策系统，小的可以是某区域的某种气象要素的预报专家系统；系统的功能、规模根据实际需要和可能而定，对于处理不同的气象问题，系统的设计要求亦不一样。按照求解问题的内容，气象预报专家系统可以分为以下几种类型：

① 咨询、检索型

利用智能知识库，进行推理、检索，找出人们所关心的气象信息。

② 参谋、决策型

参与气象预报过程，为气象预报提供参谋意见，协助气象工作者实现预报决策。

③ 预测、探索型

实现对未来天气的预测，探索过去和当前的天气及形势与未来天气及形势之间的内在联系。

④ 管理、控制型

实现对气象数据资料的管理、分类；利用反馈信息，对预测结果检验、分析，不断完善或改善系统自身等等。

⑤ 模式识别图像处理型

对难以识别的气象信息，诸如气象图像、各种复杂的原始气象数据等信息，进行加工处理，做出定性或定量的判别，转化为实用的气象信息。

一个专家系统可以是以上的一种，也可以是上述某几种的综合体。在上述气象预报专家系统中，人们最关注的是预测、探索型专家系统，也就是我们所要重点介绍的一种气象预报专家系统。

1.2.2 结构

专家系统是基于知识的程序系统，从宏观上来说，气象预报专家系统与一般专家系统的结构大体上是一致的。但对于某个特定的气象问题，系统采用的结构应视所要解决问题的具体内容和实际可能而定。从江苏省气象台站所建立的专家系统来看，通常采用图1.1所示的结构。

任何一个专家系统都应包含知识库和推理机这两个部分，它们是专家系统不可缺少的。下面对图1.1中各功能块的基本内容作一简单的介绍。

1. 知识库

知识库是专家系统的记忆体，可包含规则库、数据库、函数、个例库等内容，主要存贮预报专家的经验 and 理论知识

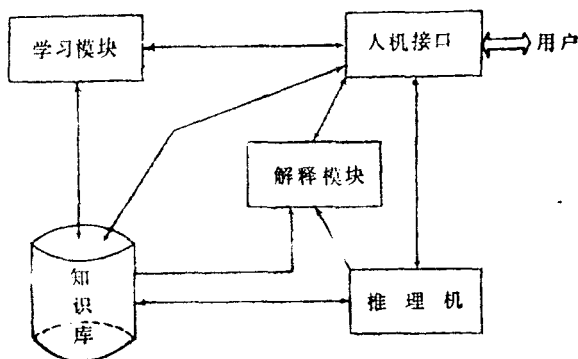


图1.1 气象预报专家系统的一般结构

以及一些实时资料信息和历史个例资料等。气象预报专家系统与其它专家系统的差别也就是在知识库的内容上。由于规则库是专家智慧的结晶，专家解决问题的方法，策略都包含在其中，所以知识库是专家系统的重要部分。因此，一般一个专家系统的性能取决于它的知识库中知识的可用性、可靠性和完善性。

2. 推理机

推理机的功效是根据知识的结构以及输入的外界信息，选择一定的搜索控制策略，模拟专家的思维方式去求解问题。所以，它是专家系统的核心。

3. 学习模块

学习模块对于气象预报专家系统来说是重要的，但不是必要的。它的功能是从外界获得信息，由信息反馈和学习机制，实现对知识的评价、检验、择优去劣，使知识库中的知识不断完善，从而提高专家系统解决气象预报问题的能力。由于自学习的理论和实践尚不够完善，因而形成了不同层次

的学习机制。对于学习水准很低甚至没有学习功能的专家系统来说，虽然能够较好地解决当前的气象预报问题，但不能去获取新知识，系统的知识水平难以提高。

4. 解释模块

解释模块的作用是解释系统本身的功能，回答用户的提问，说明推理过程和推理结论。解释模块也反映了系统的教学能力。显然，解释模块工作时要运用知识库中的知识以及推理机的工作成果。

一个气象预报专家系统还应包含用户与系统进行通讯的人机接口模块，它是专家系统与用户之间信息交换的媒介；用户可以通过它调动系统各部分去工作。所以理想的人机接口应该有一定的语言理解能力。

1.2.3 性能和特点

虽然专家系统产生的历史不长，但已深入到众多的应用领域，显示出日益强大的生命力。专家系统之所以能得到异乎寻常的发展，与其所具备的优良特性是分不开的。从江苏省气象台站专家系统的研制实践来看，气象预报专家系统的性能和特点主要表现在以下几个方面：

① 集思广益、综合应用专家的经验 and 多种预报方法

专家系统可以综合众多预报专家的知识和经验，这种专家们“通力合作”，使得专家系统的知识水平和处理问题的能力大大提高。专家系统还可以综合利用多种预报方法和信息，它可以包括天气图预报方法、数值预报结果、统计预报方法、“MOS”预报方法等等。其广博的知识和丰富的经验是单个专家所不能比拟的。