



系統科學叢書

Series of System Science.

e

黃可鳴

專家
系統導論
INTRODUCTION
TO EXPERT
SYSTEMS

東南大學出版社

SOUTHEAST UNIVERSITY
PRESS

专家系统导论

黄 可 鸣

东南大学出版社

内 容 提 要

本书比较全面和系统地介绍专家系统各方面的基本内容,使读者了解专家系统的基本理论、典型技术和开发方法。全书共分三个部分,第一部分:基本原理。阐述了专家系统的基本思想、方法和结构,并介绍了专家系统简史及今后的发展趋势。第二部分:实例研究。剖析有代表性的专家系统,介绍流行的专家系统构造技术。第三部分:专家系统开发。讨论专家系统开发工作的方法、特点、步骤及注意事项等。

本书可作为大学高年级学生或研究生学习专家系统课程的教材或参考书,也可供具有一定程序设计基础的科技人员阅读。此外,本书第一部分可作为专家系统的入门读物,供领导干部、领域专家和广大科技工作者参考。

专家系统导论

黄 可 鸣

东南大学出版社出版

南京四牌楼2号

江苏省新华书店发行 新华印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/16印张16.5字数323千字

1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷

印数: 1—3000册

ISBN7-81023-102-2

TP·10 定价: 3.40 元

责任编辑 陈天授

责任校对 吕 岚

《系统科学丛书》出版说明

当今人类社会已经由“机器时代”跨入“系统时代”。系统科学是新时代占主导地位的科学，它是范围广、渗透性强的综合性学科。现实世界错综复杂、千变万化，但是，只要站在系统科学的高度就能透过其复杂的表象，抓住其主要特征，研究其相互关系，找出其共同规律，探求事物的本质。

为了适应科学发展的形势，加强出书的计划性和系统性，在有关专家的大力支持下，我社决定出版《系统科学丛书》。本丛书的选题围绕系统科学的基础理论、方法及其工程应用，主要收录有关学术专著、研究生教材或参考书，是侧重理论性和方法论的高层次系列书。相信本丛书的出版不仅会对从事系统科学、控制论、信息论、运筹学、系统工程等学科的专业人员、研究生、高年级大学生有所帮助，而且也便于其它领域的科技工作者拓宽思路、有所借鉴，从而促进边缘学科、交叉学科的发展。东南大学出版社愿为繁荣系统科学尽绵薄之力，努力扶植学术著作的出版，欢迎国内外专家学者踊跃投稿。

本丛书将陆续出版，各册相互独立，自成体系，编号以出版先后为序。

东南大学出版社

1988.12.20

《系统科学丛书》编审委员会

主任委员：钱钟韩

副主任委员：冯纯伯 徐南荣

常务编委：陈天授

编 委：（以姓氏笔划为序）

史 维 邢汉承 宋文忠

盛昭翰 黄可鸣

序

专家系统是人工智能的重要发展方向。它的应用几乎能渗透到各行各业，凡是需要用专家知识解决问题的地方，都可以应用专家系统。专家系统目前已取得令人鼓舞的进展，并将得到更大的发展和更广泛的应用，从而成为今后计算机应用系统的重要组成部分。

专家系统虽然已得到广泛的应用，但是作为一门学科，它还不够成熟，尚缺少系统和完善的理论，人们往往还不得不通过了解具体的专家系统来学习专家系统的思想、方法和技术。近年来，国外已出版了不少专家系统方面的书籍和专著，而国内缺少这方面的自编教材或参考书。因此，及时出版一本比较全面、系统地介绍专家系统的书籍是很必要的。

本书作者黄可鸣同志是一位年轻有为的学者。近年来，他一直重视专家系统的研究和教学工作。为了教学的需要，他曾在阅读并综合大量文献、资料的基础上，编写了专家系统讲义。这本《专家系统导论》就是在该讲义的基础上充实修编而成的。书中从基本原理、基本技术和开发方法三个方面对专家系统作了较为系统和全面的论述。在基本原理部分，作者从不同角度深入浅出地阐明了专家系统的基本思想和基本原理，使读者对专家系统的作用、意义、思想、结构和历史有一个比较清晰的了解。为了使读者具体地了解专家系统的开发技术，本书还结合一些比较典型的专家系统对此作了介绍。这些实例几乎概括了目前所流行的专家系统开发技术。作者在本书第三部分比较详细地讨论了专家系统开发中常见的问题及其处理方法。所以本书既是一本专家系统课的教材，也可作为专家系统的参考书；对于想了解专家系统的其它领域的科技人员，本书的第一部分是很合适的入门读物。

《专家系统导论》的出版，对专家系统的教学和专家系统在我国的应用无疑会起到积极的作用。由于本书是初版，加之专家系统是发展中的学科，尚祈得到国内同行专家和广大读者的关注，以使在再版时更趋完善。

王能斌
于东南大学
1987年5月

前言

电子计算机是本世纪的重大发明之一，也是科学技术发展史上的一项卓越成就。自1946年第一台电子计算机问世以来，计算机已成为人类不可缺少的现代科学工具。几乎在各行各业都有它施展才能的用武之地。原先计算机的应用主要集中在数据处理方面，如科学计算、信息管理等。近些年来，人工智能与专家系统风靡世界，成为各国都极为关注的热门学科。

人工智能是本世纪三大科技成就之一，并被誉为下一世纪的带头学科，它将极大地改变整个人类社会的科学体系，给人类社会的发展进程带来不可估量的影响。专家系统是人工智能应用的最前沿。人工智能的各项基本技术主要以专家系统的方式得以实际应用。目前，专家系统已开始进入商品化阶段，专家系统的应用也开始产生巨大的经济效益和社会效益。专家系统已同自然语言处理、机器人学并列，成为人工智能的三大研究方向。

我国对专家系统的研究起步较晚，但发展很快。目前已在医疗、地质、气象、交通、农业、军事、工程、机械、数学、物理、化学等许多领域研制出一批专家系统。一种各行各业竞相研制专家系统的热烈局面已经出现。我国政府对专家系统研究与开发非常重视，现已将实用专家系统和专家系统开发工具的研制列为“七·五”计划重点攻关课题；国家自然科学基金会也着重支持这方面的研究；电子工业类教材编审委员会已将专家系统列为大学本科生和研究生的选修课。有党和政府的支持，有各行各业科技人员的共同努力，我国专家系统的研究与开发定会在不久的将来赶超世界先进水平！

目前国内公开出版的专家系统方面的书籍不多，作为教材出版的就更少，这种状况与我国蓬勃发展的专家系统研究与开发的热烈局面不相适应。为此，笔者编写了这本《专家系统导论》，希望它能够成为学习专家系统课程或从事专家系统教学与研究的科技人员的得力工具，为促进我国专家系统的普及与推广略尽绵薄之力。

本书第一稿是笔者在国内一些单位举办专家系统讲座的讲稿基础之上整理而成，并在为东南大学计算机科学与工程系研究生和本科生开设的专家系统选修课中使用。现在奉献给读者的是对第一稿进行了一些补充和加工的第二稿。本书的特点是实例丰富、图文并茂，内容详细直观，旨在使读者便于理解和接受。

本书的宗旨是在有限的篇幅内，尽可能全面、系统、详细地介绍专家系统的各方面的问题。因此本书分为三大部分：

· 第一部分——基础知识，分为三章：绪论、基本原理、LISP语言与专家系统。前两章着重从不同角度多方反复论述专家系统的基本思想和基本原理，以使读者比较清晰、透彻地了解专家系统的本质。由于本书中所介绍的专家系统实例大多是用LISP语言实现的，为了便于在第二部分中介绍一些实际的专家系统及其实现细节，第三章中简要地介绍了LISP语言的基本概念并用LISP语言实现了一个简单的专家系统模型，以使读者了解前两章所述内容的真正含义并了解专家系统的一些简单技术的实现方法。

· 第二部分——实例研究，着重介绍目前比较常用的专家系统开发技术。这一部分选择

了一些比较有代表性的实际系统，并结合这些系统介绍专家系统的构造技术，以便读者在了解这些技术的同时，也能体会到如何运用这些技术开发专家系统。

·第三部分——开发专家系统，主要介绍开发专家系统常遇到的问题及处理方法。包括开发专家系统的特点与步骤、必要的准备工作、开发专家系统的难点、语言及工具的选择与利用、评价专家系统等方面。

此外，附录1和附录2给出了两个专家系统的运行实例，读者可以从中进一步体会专家系统各种特点。附录3列出了一些国内外较著名的专家系统，读者可借此了解专家系统的发展状况。在每章之后都有一定数量的习题和参考文献，供读者参考和查阅。

本书可作为大学高年级学生、研究生学习专家系统课程的教材或参考书，也可供具有一定程序设计基础的科技人员自学使用。

本书的编写中得到了王能斌教授、邢汉承教授、程正潮副教授的热情支持；管纪文教授、邢汉承教授、杨祥金副教授以及张成奇、刘卓军、洪军、侯洛明、陈晓群、姜浩、林阿龙等同志为笔者提供了宝贵的参考资料；邢汉承教授、王开铸教授和洪家荣副教授审阅了本书原稿，并提出了宝贵意见。

由于笔者水平有限，加之所能查阅到的资料有限，书中难免存在缺点错误，恳请有关专家、同行和广大读者赐教。

黄可鸣于东南大学

1986年12月

目 录

序	(1)
前言	(1)
第一部分 基础知识	(1)
第一章 绪论	(2)
§1.1 专家系统的基本思想	(2)
1.1.1 定义 1.1.2 基本思想	
§1.2 专家系统的特征	(3)
1.2.1 专门知识的启发性 1.2.2 专门知识的专有性 1.2.3 专门知识的不稳定性	
1.2.4 专门知识难于抽取	
§1.3 研制专家系统的意义	(4)
1.3.1 理论意义 1.3.2 实践意义	
§1.4 专家系统的产生与发展	(5)
1.4.1 背景 1.4.2 初创期 1.4.3 成熟期 1.4.4 发展期	
1.4.5 我国专家系统发展概况	
习题与思考题	(16)
主要参考文献	(17)
第二章 基本原理	(19)
§2.1 传统的数据处理、人工智能与专家系统	(19)
2.1.1 TDP系统的特点 2.1.2 TDP系统与AI系统 2.1.3 ES系统与AI系统	
§2.2 专家系统的结构	(26)
2.2.1 基本结构 2.2.2 流行结构 2.2.3 理想结构	
§2.3 专家系统的分类	(30)
2.3.1 按任务类型分类 2.3.2 按任务要求分类	
§2.4 现状与展望	(35)
2.4.1 现状与缺陷 2.4.2 研究展望 2.4.3 应用展望	
习题与思考题	(40)
主要参考文献	(40)
第三章 LISP语言简介	(42)
§3.1 关于LISP语言	(42)
3.1.1 起源与发展 3.1.2 特征与缺陷	
§3.2 基本概念	(44)
3.2.1 数据 3.2.2 程序	
§3.3 预定义函数	(46)
3.3.1 数值处理 3.3.2 赋值 3.3.3 表达式处理 3.3.4 特性表处理	

3.3.5 求值控制	3.3.6 输入输出及转换函数	3.3.7 以函数为参数的函数	
§3.4 程序实例			(54)
3.4.1 深度优先搜索	3.4.2 最佳优先搜索	3.4.3 反向推理	3.4.4 骨架系统
习题与思考题			(64)
主要参考文献			(65)
第二部分 实例研究			(66)
第四章 DENDRAL系列			(67)
§4.1 领域背景			(67)
4.1.1 分子结构	4.1.2 质谱法	4.1.3 0阶理论与半阶理论	4.1.4 DENDRAL算法
§4.2 启发式DENDRAL系统			(73)
4.2.1 概述	4.2.2 规划	4.2.3 生成	4.2.4 检验 *4.2.5 改进与扩充
§4.3 Meta-DENDRAL系统			(81)
4.3.1 概述	4.3.2 规划	4.3.3 生成	4.3.4 检验
习题与思考题			(93)
主要参考文献			(93)
第五章 MYCIN系列			(95)
§5.1 MYCIN系统			(95)
5.1.1 背景	5.1.2 概述	5.1.3 数据的表示及组织	5.1.4 知识的表示及组织
5.1.5 似然推理技术	5.1.6 控制策略	5.1.7 解释方案	*5.1.8 改进与扩充
§5.2 TEIRESIAS系统			(121)
5.2.1 概述	5.2.2 元知识	5.2.3 元知识在知识获取中的应用	
5.2.4 元知识的其它应用			
§5.3 EMYCIN系统			(131)
5.3.1 基本结构	5.3.2 利用EMYCIN开发专家系统		
习题与思考题			(133)
主要参考文献			(134)
第六章 PROSPECTOR系列			(135)
§6.1 PROSPECTOR系统			(135)
6.1.1 概述	6.1.2 知识表示	6.1.3 似然推理	6.1.4 语义网络匹配程序
6.1.5 控制策略	6.1.6 解释系统	*6.1.7 改进与扩充	
§6.2 KAS系统			(155)
6.2.1 PROSPECTOR的开发工具	6.2.2 常驻内存网络编辑程序		
6.2.3 Matcher在知识获取中的应用			
习题与思考题			(160)
主要参考文献			(160)
第七章 AM与MOLGEN系统			(162)
§7.1 AM系统			(162)
7.1.1 概述	7.1.2 概念的表示与组织	7.1.3 规则的表示与组织	
7.1.4 控制策略			
§7.2 MOLGEN系统			(172)

7.2.1 背景	7.2.2 知识的表示与组织	7.2.3 逐步求精规划	
7.2.4 最小冒险原则			
习题与思考题			(184)
主要参考文献			(185)
第八章 HEARSAY系列			(186)
§8.1 背景			(186)
8.1.1 口语理解	8.1.2 HEARSAY-I系统		
§8.2 HEARSAY-II系统			(189)
8.2.1 概述	8.2.2 黑板	8.2.3 知识源	8.2.4 控制策略
§8.3 AGE系统			(195)
8.3.1 概述	8.3.2 黑板结构	8.3.3 知识源结构	8.3.4 控制策略
§8.4 HEARSAY-III系统			(199)
8.4.1 黑板结构	8.4.2 知识源结构	8.4.3 控制策略	
习题与思考题			(201)
主要参考文献			(201)
第九章 PROLOG语言及应用			(203)
§9.1 背景知识			(203)
9.1.1 逻辑表示法	9.1.2 PROLOG概述		
§9.2 Turbo PROLOG			(206)
9.2.1 程序结构	9.2.2 标准谓词	9.2.3 应用举例	
习题与思考题			(215)
主要参考文献			(216)
第三部分 专家系统开发			(217)
第十章 研制专家系统的若干问题			(218)
§10.1 概述			(218)
10.1.1 研制专家系统的特点	10.1.2 设计专家系统的原则	10.1.3 专家系统的选题原则	10.1.4 开发专家系统的难点
10.1.5 研制专家系统的工作			
§10.2 研制专家系统的基本步骤			(222)
10.2.1 准备阶段	10.2.2 研究问题	10.2.3 整理知识	
10.2.4 建立模型系统	10.2.5 改进与扩充		
§10.3 评价专家系统			(225)
10.3.1 评价专家系统的原则	10.3.2 评价专家系统的方法		
习题与思考题			(228)
主要参考文献			(228)
附录1 MYCIN 运行实例			(230)
附录2 TEIRESIAS 运行实例			(238)
附录3 国外一些专家系统及工具一览表			(243)
附录4 宏 LISP 语言用法简介			(247)
附录5 Turbo PROLOG 用法简介			(249)

第一部分 基础知识

回顾人类社会发展史，对工具的利用大致可分成五个阶段。首先是采用刀、斧、锹等一些基本劳动工具，使人们可以较容易地完成一些简单工作。这些工具相当于人类四肢的延伸；其次是采用蒸汽机、电动机等设备，极大地减轻了人类的体力劳动，因此引起了产业革命，使人类文明跃升到一个新阶段，这些工具相当于人的肌体的延伸；然后是无线电、电视等工具的出现，使人类克服了时间、空间的障碍，快速传递信息，这些工具相当于人的感知器官的延伸；最近电子计算机的问世，极大地减轻了人类日常事务性脑力劳动，使人类进入了信息社会，电子计算机相当于人脑的延伸；我们现在正处于第五阶段的开始，即应用各种智能系统帮助人类处理各种复杂的问题，这些工具相当于人类思维的延伸。各种智能系统的发展与完善，终将导致新一代计算机——智能计算机时代的到来。它将引起人类科学体系的重大变革，使人类社会进入一个全新的时代！

担负着如此历史重任的是一个年轻的学科——人工智能 (Artificial Intelligence, 简称 AI)。人工智能与原子能技术、空间科学一起并称为本世纪三大科技成就。它的近期目标是研究如何使计算机更“聪明”，即如何使计算机完成更多具有智能意义的工作，它的长远目标是研究人类智能的根本机理，从而揭示人类思维的奥秘。人工智能现被誉为下一世纪的带头学科，世界各国政府对其极为重视，竞相投入大量的人力和财力从事AI研究。这一点可从美国、日本和西欧等发达国家在研制第五代计算机的激烈竞争中窥见一斑。有人甚至声称，谁能首先掌握人工智能，谁就能在下一世纪的竞争中处于领先地位。

近些年来，AI 研究有了飞跃的发展，它开始从研究、实验阶段进入实用阶段。引起AI这种转化的主要因素就是一个新兴学科——专家系统 (Expert System, 简称 ES) 的问世。

专家系统是人工智能的一个分支，产生于六十年代中期。虽然它只有二十年左右的历史，但其发展速度相当惊人。目前 ES 的应用领域已渗透到数学、物理、化学、生物、农业、地质、气象、交通、冶金、化工、机械、政治、经济、军事、法律、空间技术、环境科学及计算机科学本身等众多领域。它已同自然语言理解、机器人学并列成为AI的三大研究方向。在世界各国的新一代计算机研制计划中，专家系统都是其推理的核心部分。如果把电子计算机的出现看成是计算机的第一次革命，那么向智能计算机时代的过渡就是计算机的第二次革命。专家系统的创始人 E. A. Feigenbaum 教授曾指出：“专家系统是第二次计算机革命的工具”。^[17]

在这一部分中，我们主要对专家系统的基本思想、基本特征、基本结构进行较为系统的介绍，为下一部分剖析一些实际专家系统奠定基础。

值得指出的是，专家系统是一门非常年轻的学科，ES 本身还处于发展阶段，对它的许多问题尚无定论，这里只能就ES目前的发展状况来讨论它的各种特征。

第一章 绪 论

本章的目的主要是使读者了解专家系统的基本思想、基本特征。为了加深读者对专家系统的理解,在本章第四节中从专家系统发展史的角度介绍了专家系统思想的形成及进化过程。此外,附录1和附录2所给出的两个ES的完整工作过程也有助于读者了解专家系统的特征和优越性。

§1.1 基本思想

自从世界上第一个专家系统——DENDRAL问世以来,ES研究者们开发了很多高水平的专家系统,它们可以象人类专家一样解决应用领域中的困难问题。例如,DENDRAL系统可以象物理化学专家一样推断分子的组成结构;MYCIN系统象一个经验丰富的感染病医生为患者诊断、治疗感染性疾病;PROSPECTOR系统可以象优秀的经济地质专家一样帮助地质工作者寻找矿藏;XCON(原称R1)可以按照顾客的要求处理VAX系列计算机系统的配置问题等等。是什么因素使得专家系统达到如此高的水平?专家系统的优越性何在?本节主要讨论这些问题。

1.1.1 定义

何谓专家系统?目前对此尚无一个精确的、全面的、众所公认的定义。产生这种状况的因素很多,主要原因是ES的历史相当短暂,对其理论研究工作仅是刚刚开始;其次,是由于各个应用领域的特点不同,人们研制专家系统的出发点不同,看待问题的角度不同,追求的目标不同,造成了对专家系统定义的不同看法。此外,ES的发展史是各种系统不断进化的历史,人们在不同的时期对ES有不同的理解,也是造成专家系统有多种定义的一个因素。

尽管如此,研究者们对ES还是有一种比较一致的、粗略的定义,这就是:

专家系统是一个(或一组)能在某特定领域内,以人类专家水平去解决该领域中困难问题的计算机程序。

从以上定义中可以看出,专家系统强调的是高性能,因此,任何解题能力达到了同领域中人类专家水平的计算机程序都可以称作专家系统。但实际上这个定义具有非常丰富的内涵,并非用任何方法设计的程序都能达到人类专家水平。因此这个定义只是对ES的笼统概括,它并没有精确反映ES与其它计算机应用程序的区别。专家系统作为一类计算机程序有它自己的特点,这将在§1.2中详细阐述。

ES是一门综合性很强的边缘学科,开发一个成功的专家系统需要系统设计人员与应用领域中的人类专家密切合作。一般将ES的设计人员称为知识工程师(Knowledge Engineer,简称KE),将参加专家系统开发的人类专家称为领域专家(Domain Expert,简称DE)。

1.1.2 基本思想

为了了解ES为什么会达到很高的性能,首先要考察一下人类专家为什么会比其它人高明。

我们每个人都具有解决各种各样问题的能力，如进行计算、下棋、修理自行车、烧菜等。但除了本专业以外，我们处理其它领域问题的能力都很有限，即所谓万能专家是不存在的。产生这种状况的根本原因在于一个人解决问题的能力依赖于他所掌握的知识多寡。我们之所以能够较好地处理本专业的问题，而不能解决其它领域的困难问题，其原因就在于我们掌握了较多与本专业有关的的知识，而对其它领域的知识却了解甚少。因此，人类专家之所以成为某一领域中的专家，其关键之处就在于他掌握了关于该领域的大量专门知识 (Expertise)。在这些知识中，一部分是他从书本上或向他人学来的，但主要的还是他在长期实践中逐渐积累起来的。正是那些在实践中积累起来的经验性知识，使专家在处理问题时比别人技高一筹。

由此可知，如果计算机能够存储关于某一领域的大量专门知识，并能有效地利用这些知识去解决问题，那么计算机也应该能很好地解决该领域的复杂问题。专家系统的基本思想概出于此！因此，ES 的整个理论基础可以用英国伟大的哲学家 E.Bacon 的一句名言：“知识就是力量”来概括。

A. Barr 和 Feigenbaum 在参考文献[9]中曾精辟地指出：“专家系统的性能水平主要是它所拥有的知识数量和质量的函数。”一个专家系统所知道的知识越多、质量越高，它解决问题的能力也就越强。因此，专家系统实际上是通过在系统中存储大量与应用领域有关的专门知识来取得高水平的问题求解能力。

§1.2 专家系统的特征

专家系统强调系统所拥有的知识对系统的性能水平有着重要影响。专门知识是ES的焦点。因此专门知识的特点对 ES 的理论和实践都有着不可低估的影响。本节从专门知识的特点出发，来探讨专家系统的基本特征。

1.2.1 专门知识的启发性

在人类专家所掌握的大量专门知识中，真正使他比一般专业人员技高一筹的大都是在他长期实践中积累起来的宝贵经验。这些知识通常没有严谨的理论依据，很难保证其在各种情况下的普遍正确性，但在一定条件下解决问题，它们往往简洁而有效，能够起到有效地化简问题或快速求解问题的作用。具有这种特点的知识称为启发性知识 (Heuristic Knowledge)，而把能够确保其正确无误的知识称为逻辑性知识 (Logical Knowledge)。例如，质因子分解唯一性定理：

如果 N 是自然数，那么 N 有唯一的质因子分解。

这是一条逻辑性知识，它对任意自然数来说都是正确的。而下面一条知识：

如果某人食指呈黄褐色，那么他是吸烟者。

这是一条启发性知识。因为并非所有食指呈黄褐色的人都一定是吸烟熏的，也可能是涂了碘酒或其它原因造成的。但利用这条知识可以使我们比较容易地判断某人是否为吸烟者，并且多数情况下能够得出正确的结论。使用启发性知识处理问题是人类推理的特征之一。人类专家的技能也主要来源于这些启发性知识。因此，专家系统要达到人类专家处理问题的水平就必须能够存储和利用这些启发性知识。

1.2.2 专门知识的专属性

由于专门知识大多是人类专家在实践中积累起来的启发性知识，所以通常只有专家本人了解它们。同时启发性知识多来源于经验、没有正确性保障。一般情况下，这些专门知识是

不会写入教科书或其它专业书籍中的。因此，人类专家的专门知识通常不被他人所了解，它们基本上是专家本人的专有知识。正因为如此，一方面这些启发性知识鲜为人知，另一方面它们又没有正确性保障，所以如果ES象其它应用程序一样只提供最终结论而不对其做任何解释，则势必会影响用户对这些结论的信任程度，特别是当系统的结论与用户的看法相抵触时，更是如此。因此，专家系统应该具有解释功能。它可以回答用户的问题，告诉用户它是如何解决问题的，使用了哪些知识，这些知识的内容是什么以及它们的来源和合理性等等，使专家系统对用户来说是“透明的”。较好的透明性也有助于知识的检验和修改。

1.2.3 专门知识的不稳定性

专门知识多是启发性知识，没有正确性保证，所以，相对于逻辑性知识来说它们是不稳定的。一旦遇到新情况、新问题，人类专家随时可能修正已有的知识或归纳出新知识以便能够处理这些新问题。专门知识的不稳定因素要求ES应具有较大的灵活性。也就是说，系统知识应容易修改和扩充，以便不断适应新情况的需要。

1.2.4 专门知识难于抽取

专门知识是人类专家长期积累起来的，这些知识在专家头脑中往往并没有很好的组织结构。这主要表现在领域专家在为ES提供知识时往往很难说清他们知道多少知识，即使让他们说明对于解决某种类型的问题他们知道多少知识也是比较困难的。这给专家系统的开发工作造成极大的困难，以往ES的开发经验都证实了这一点。因此，要求领域专家在短期内把他所知道的知识都整理出来是不现实的。一种比较简单而有效的方法是随时把领域专家整理出来的知识加入到系统中，这就决定了ES的开发是一个扩充性过程。此外，研制一个成功的专家系统往往需要利用大量的实际例子对系统进行反复测试，从中发现错误的知识加以剔除，并对系统不断修改和扩充，以使它达到较高的性能。以上这些因素也需要ES具有较大的灵活性。

综上所述，一个专家系统应具有以下三个特征：

启发性 (Heuristic) —— 不仅能使用逻辑性知识，也能使用启发性知识；

透明性 (Transparency) —— 能向用户解释它的推理过程，还能回答用户的一些关于它自身的问题；

灵活性 (Flexibility) —— 系统中的知识应便于修改和补充。

对于ES的这几个特点，读者可以从附录1和附录2的两个ES工作实例中有所了解。

§1.3 研制专家系统的意义

专家系统以它的高性能和实用性引起了世界各国的普遍重视。美国、日本、英国等发达国家纷纷把ES研制列入国家级重点科研项目。许多ES的性能已达到或超过了同领域中人类专家的水平。有些专家系统已投入实际应用并开始产生了巨大的经济效益。例如，探矿专家系统PROSPECTOR曾于1982年发现了美国华盛顿州的一处钼矿，据估计该矿藏的开采价值超过一亿美元；计算机配置专家系统XCON每年可为数字设备公司(DEC)节省几千万美元的开支；而Schlumberger公司声称测井记录解释专家系统Dipmeter Advisor可以大大地增加该公司解释业务的总收入；钻探顾问专家系统Drilling Advisor的研制者们也预言这个系统的第一次应用即可收回全部研制费用。

无论在理论上，还是在实践上，专家系统的研制对智能科学的研究与发展都有着重大意义。

1.3.1 理论意义

专家系统作为理论研究的工具推动了人工智能的发展。

专家系统强调人类智能活动是以知识为中心开展，包括知识表示、知识利用和知识获得三个基本环节。这种观点使专家系统获得巨大的成功，人工智能的基本技术在专家系统中得以实际应用。由此强有力地说明了在智能活动中以知识为中心的重要性。

专家系统的实用性较强，它成为检验人工智能基本理论和测试人工智能基本技术的较理想的实验场所。目前已出现了一些专门作为实验项目而研制的专家系统。例如，人们曾先后使用五种不同的方法实现了肺功能测试专家系统：EMYCIN-PUFF、AGE-PUFF、CENTAUR、BASIC-PUFF、WHEEZE，借以研究知识表示及其它人工智能技术的应用效果。

专家系统的应用不断向人们提出新的研究课题，从而促进了人工智能基本理论和基本技术研究的发展。例如，似然推理 (Plausible Reasoning)、元知识 (Metalevel Knowledge)、骨架系统 (Skeletal System) 等都对人工智能的发展有较大的贡献。

1.3.2 实践意义

专家系统作为一种实用工具为人类提供了保存、传播、利用和评价知识的有效手段。

知识是一种宝贵的资源，知识的推广和使用可以产生巨大的经济效益。因此，保存和推广知识无疑是一项非常有意义的工作。传统的知识转移过程包括教育、实习等步骤，通常需要较长的时间周期。把知识形式化并存入计算机中，知识的复制和转移变得简单易行。专家系统不仅能存储知识，还能有效地使用这些知识。从教育的角度来看，它提供了一种生动直观的形象教学手段。现在已有一些专门用于从事教育的专家系统，如 GUIDON、STEAMER、NEOMYCIN 等。

尽管专家们精通业务，能熟练地解决问题，但地理位置、工作强度、外界环境、心理状态等因素都妨碍了专家充分发挥作用。ES 可以克服这些不利因素，很好地利用专家的知识造福于人类。另外，ES 可以集各家之长，博采各学派之精华，避免单个专家的局限性。

通过把专家头脑中的知识形式化并很好地组织起来存入计算机中，对专家本人也有较大的促进作用。他可以从中发现其知识的缺陷，便于修改和精炼这些知识。同时很好形式化并具有很好组织结构的知识易于被他人所理解，专家个人的知识处于公众的检验和评判之中，也有利于这些知识的改进。另外，不同专家的知识在专家系统中都用统一的形式描述，便于比较和评价这些知识的优劣。

§1.4 专家系统的产生和发展

纵观人类社会科学技术发展史，任何一门新学科的诞生都不是偶然的，皆是前人辛勤努力和前期成果积累的产物。同样，专家系统的产生也是人类长期探索机器智能的智慧结晶和升华。ES 的产生发展进程大致可分为孕育、产生、成熟和发展几个阶段。

1.4.1 背景 (1965 年以前)

自从人类学会使用工具减轻繁重的体力劳动以来，用工具代替人的脑力劳动就成了人类向往和追求的目标之一。许多仁人志士曾为此付出了大量的心血。东汉徐岳在《数术记遗》一文中已有关于珠算的记载，这表明早在公元 200 年，我们的祖先就已发明了珠算。到了明代初期，出现了二一五进制的算盘。算盘以它制作简单、方便易学等特点，至今还被广泛使用着。十七世纪，法国数学家和物理学家 B. Pascal 研制成功了世界上第一台机械式加法器，

成为人类用工具自动地代替人的部分脑力劳动的真正开端。当今计算机领域广泛使用 PASCAL 语言就是为纪念这位伟大的科学家而命名的。英国数学家 C. Babbage 于1843年提出要研制能快速下国际象棋的机器, 大概算是人类使用机器进行推理的有具体计划的首次设想了。由于种种原因, Babbage 没能实现他的愿望。到了1915年, 西班牙天才的发明家 L. T. Quevedo 实现了 Babbage 的这一梦想。他研制了两台能下国际象棋残局的机器, 从此揭开了人类用机器进行推理的第一篇章。但对于机器智能最富有热情的斗士还是才智超人的 A. Turing。他于1937年提出了图灵机 (Turing Machine) 的概念, 其中包含着许多智能机器的思想。当今计算机领域的最高科学奖——图灵奖就是为了纪念他而设立的。前人不懈的努力终于在1946年结出了丰硕的成果。这一年美国数学家 J. W. Mauchly 和 J. P. Eckert 研制出了世界上第一台通用电子计算机 ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator), 从而拉开了人类大规模地用机器代替人的部分脑力劳动的序幕。

电子计算机是20世纪的重大发明创造之一, 是人类科学技术发展史上的一项卓越成就。它已成为人类不可缺少的强有力的现代科学工具。目前, 计算机每年为人类完成的工作量已经用千亿人年为单位来计算了。

初期, 计算机的应用主要集中在科学计算、数据处理等日常事务性工作。这虽然能把人类从大量繁重的脑力劳动中解放出来, 但从根本上来说计算机的智能水平还很低。在这一阶段, 解决问题的主要工作实际上是由人来担任的。为了使计算机能够完成某项工作, 人们首先要对需解决的问题进行深入、细致的研究, 进而找出一种行之有效的解决方法, 然后把这种方法编成程序交给计算机。计算机只能按照程序设计人员制定好的路线去解决问题。它基本上没有什么主动性, 不能自己规划解题步骤。

由于现实世界中还存在着大量人类没有充分认识的问题, 因此对于这样的问题也不可能找出一种完全有效的解决方法, 这就大大地限制了计算机的应用范围。为了使计算机更好地发挥作用, 1965年夏, 由 J. McCarthy、M. L. Minsky、C. E. Shannon、N. Lochester 等四人发起, 十名从事数学、精神病学、心理学、信息科学和计算机科学方面研究的年轻科学工作者, 在 Rockefeller 基金会的赞助下, 聚集在美国新罕布什尔州的 Dartmouth 大学共同探讨了用机器模拟人类智能行为的各种问题, 并在会上首次正式使用了“Artificial Intelligence” (人工智能) 这一术语。这次会议就是著名的达特默斯会议, 它标志着一个新兴学科——人工智能的诞生。

AI的问世是人类进行机器智能研究的一个重要转折。在人工智能产生后的十年中, AI 研究者做了大量的工作, 并取得了许多可喜的成果。

一方面, 在此期间人们设计出了一批显示了较高智能水平的 AI 系统, 如 A. Newell、J. Shaw 和 H. A. Simon 等人1956年编制的 LT (Logic Theorist) 系统第一次在程序中使用了人类在解决问题时常用的启发式方法。LT 程序可以自己规划解题步骤, 只要事先存入一组公理和一组推理法则, 计算机就可以去证明所要验证的定理。LT 程序已证明了 A. N. Whitehead 和 B. Russell 的名著《数学原理》第二章中的全部52条定理。同年, A. L. Samuel 研制的西洋跳棋程序 (Checkers) 具有学习功能。它可以学习棋谱或自己积累经验。通过不断学习, Checkers 已经击败了塞缪尔本人, 并于1962年荣获美国一个州的跳棋冠军。这个程序是人类研究机器学习的一次卓有成效的探索。又如1961年 J. Slagle 设计的符号积分程序 SAINT (Symbolic Automatic INTEGRator) 可以解决难度较大的不定积分问题。Slagle 曾用86个不定积分问题 (其中54个是麻省理工学院微积分课程的期末试题) 去测试 SAINT 的