

专家系统

● 理论 工具 实例 ●

杨静宇
程永清
刘 克

编著

EXPERT SYSTEMS

兵器工业出版社

专 家 系 统

原理 工具 实例

杨静宇 程永清 刘 克 编 著

兵器工业出版社

内 容 简 介

本书介绍了专家系统的基本原理,工具及其实例,是一本关于专家系统的实用性较强的教材。全书共分八章:第一章叙述了专家系统的发展历史和概况;第二章至第五章论述了专家系统的基本原理和方法;第六章介绍了专家系统的开发工具;第七章介绍了专家系统中较为流行的黑板控制结构;第八章详细解剖了几个典型的专家系统实例。

本书可作为大学高年级学生和研究生专家系统课程的教材,也可作为从事专家系统研究和应用的广大科技人员的自学参考书。

专家系统 原理 工具 应用

杨静宇 程永清 刘 克 编著

*

兵器工业出版社出版发行

(北京市海淀区车道沟 10 号)

各地新华书店经销

通信工程学院印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 15 字数: 363.87 千字

1991 年 12 月第 1 版 1992 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1~1000 定价: 12.00 元

ISBN 7-80038-354-7/TP·27

前 言

自 60 年代以来, 专家系统的研究取得了可喜的成果。专家系统已经成功地应用于医学、数学、信息管理、工程、地质、化学、制造、电子、计算机系统、军事、空间技术等许多领域。专家系统可以解决的问题包括解释、预测、诊断、设计、规划、监视、修正、教学和控制等。一大批高性能的专家系统已经从学术研究开始进入实际应用, 导致了全球范围内致力开发和应用这种技术。

专家系统是一种计算机智能程序, 用于解决某一具体领域的一些难度较高的问题。这些问题本来需要由具有这一领域的专门知识的专家才能解决。由于专家系统主要依靠知识来发挥其功能, 因而它又被称为基于知识的系统。专家系统的开发现在已由实用专家系统的研制转变为研制各种专家系统工具, 从而提高了专家系统的开发速度, 减少了研制费用, 缩短了开发周期。

本书包括三部分: 第一章至第五章介绍专家系统的基本原理和技术; 第六章和第七章叙述专家系统工具和黑板控制结构; 第八章详细剖析四个典型的专家系统实例。本书是在近几年给研究生讲授“专家系统”课程的基础上, 参考了国内外同类教材及有关文献编写而成, 重点论述专家系统的基本原理和技术, 专家系统工具和一些专家系统实例的分析。编者希望本书能向读者较为系统地提供有关专家系统的基本原理, 方法和技术。

作者十分感谢刘满凡、单红燕同志为本书编排所付出的辛勤劳动。作者还要感谢研究生邬永革、蒋韧、任明武、汪华峰和陆建峰帮助校对了原文。

限于我们的水平及时间仓促, 书中的错误和遗漏可能很多, 欢迎读者批评指正。

目 录

第一章 引论	(1)
§ 1.1 专家系统的历史	(1)
§ 1.2 基本结构和类型	(5)
§ 1.3 新一代专家系统的研究动态	(14)
§ 1.4 一个专家系统实例	(19)
第二章 知识表示	(30)
§ 2.1 概述	(30)
§ 2.2 逻辑表示法	(33)
§ 2.3 语义网络	(36)
§ 2.4 产生式规则	(42)
§ 2.5 框架	(45)
§ 2.6 功能表示法	(49)
§ 2.7 知识表示方法的评价	(51)
第三章 基于知识的推理	(54)
§ 3.1 推理方式	(54)
§ 3.2 推理机的推理效果和效率	(61)
§ 3.3 推理过程的控制策略	(63)
§ 3.4 数据驱动的控制策略	(64)
§ 3.5 目标驱动的控制策略	(65)
§ 3.6 混合控制策略	(68)
§ 3.7 元控制策略	(72)
第四章 不精确推理	(74)
§ 4.1 不精确推理模型的一般结构	(74)
§ 4.2 确定性理论与 MYCIN 模型	(78)
§ 4.3 主观 Bayes 方法与 PROSPECTOR 模型	(83)
§ 4.4 可能性理论	(92)
§ 4.5 证据理论	(95)
§ 4.6 发生率计算	(101)
第五章 解释技术与元知识	(105)

§ 5.1 解释技术.....	(105)
§ 5.2 元知识.....	(119)
第六章 专家系统工具	(124)
§ 6.1 专家系统工具的种类.....	(124)
§ 6.2 专家系统工具的使用.....	(129)
§ 6.3 EMYCIN	(139)
§ 6.4 KAS	(141)
§ 6.5 EXPERT	(144)
§ 6.6 HEARSAY-Ⅲ	(145)
第七章 黑板系统	(148)
§ 7.1 问题求解的黑板模型.....	(148)
§ 7.2 经典黑板系统 HEARSAY-Ⅱ	(152)
§ 7.3 黑板系统的演变.....	(159)
第八章 实例分析	(164)
§ 8.1 DENDRAL	(164)
§ 8.2 MYCIN	(173)
§ 8.3 PROSPECTOR	(198)
§ 8.4 PIP	(215)
附录 词汇对照表	(225)
参考文献	(234)

第一章 引 论

60年代中期以后,人工智能在专家系统领域中取得了巨大进展,专家系统的研究历史是从两个具体系统开始的,一个是斯坦福大学的费根鲍姆(E.A.Feigenbaum)等人研制的化学专家系统 DENDRAL;另一个是麻省理工学院的数学专家系统 MACSYMA。本章首先介绍专家系统的发展历史,然后介绍专家系统的基本结构和类型,最后简单介绍一个专家系统实例,从中大致了解一下专家系统的设计原理和过程,以便对专家系统有一整体、直观的认识。

§ 1.1 专家系统的历史

计算机产生初期,它的应用主要集中在科学计算和数据处理等日常事务工作方面。为了使计算机完成某一工作,首先应对所解决的问题进行细致、深入的分析,找出一种有效的算法,然后编程序送入计算机运行。这种处理方法的一个关键问题是能否找到有效的算法解。但自然界中有许多问题,人们还没有充分认识,因而无法对问题找到完全有效的算法解,从而大大限制了计算机的使用范围。

1956年夏季,由麦卡锡(J.McCarthy),明斯基(M.L.Minsky),申农(C.E.Shannon),罗切斯特(N.Lochester)四人发起,在 Rockefeller 基金会的赞助下,十名从事数学、心理学、神经学、信息科学和计算机科学等方面的青年科学工作者聚集在美国新罕布什尔州的达特默思(Dartmouth)大学,共同探讨人类的智能行为,并在会上首次使用“人工智能”(Artificial Intelligence,简称 AI)这一术语,从而促成了一门新兴的交叉学科——“人工智能”的诞生。

在以后的十年中,人工智能领域取得了可喜的成果,出现了几个智能水平较高的 AI 系统,纽厄尔(A.Newell),肖(J.Shaw)和西蒙(H.A.Simon)等人 1956 年编制的 LT(Logic Theorist)程序,第一次在程序中使用了人类求解问题时常用的启发式方法,LT 程序通过事先在计算机中存入一组公理并制定一组规则使其可以自己规划出解决问题的步骤,这个程序证明了怀特黑特(A.N.Whitehead)和罗素(B.Russell)的名著《数学原理》第二章中的 38 条定理。同年,塞缪尔(A.L.Samnel)研制的西洋跳棋程序 Checkers 具有自学习功能,它可以自己学习棋谱并在实践中获取经验,通过不断地学习,Checkers 于 1959 年击败了塞缪尔本人并于 1962 年击败了美国一个州的冠军。这个程序是人类研究机器学习的卓有成效的探索。1961 年 J.Slage 设计的符号积分程序 SAINT(Symbolic Automatic INTeegrator)可以解决难度较大的不定积分问题。

另一方面,在 AI 的基本理论和基本方法的研究中也取得了某些进展,如知识表示,推理方法,搜索策略等。与此同时,1960 年麦卡锡研制出了 AI 程序设计语言 LISP。以上这些成果都为以后专家系统的产生打下了良好的基础。

1965年，斯坦福大学计算机科学系费根鲍姆研究了以往人工智能走过的曲折历程中的成功经验和失败教训，发现人类专家之所以成为某一领域的专家，其主要原因不仅在于他们具有大量丰富的领域知识，更重要的在于他们具有那些从实践中摸索出来的、鲜为人知的经验性知识。基于这种想法，他和诺贝尔奖金获得者、遗传学家 J.Lederberg，物理学家 C.Djerassi 等人研制了 DENDRAL 系统，DENDRAL 系统是用分子式及其质谱数据帮助化学家推断分子结构的智能系统。它于 1968 年基本完成。DENDRAL 系统中存有非常丰富的高质量的化学知识，它解决问题的能力达到了专家水平。在某些方面甚至超过了同领域的化学专家，其中包括它的设计者。

DENDRAL 系统的问世，标志着 AI 研究进入实用阶段，也标志着一个新的研究领域——专家系统 (Expert System, 简称 ES) 的诞生，与 DENDRAL 系统差不多同时开发的还有 MIT (麻省理工学院) 的符号数学专家系统 MACSYMA，它是从 SAINT 系统上发展起来的，像 DENDRAL 一样，MACSYMA 胜过绝大多数的专家。它可以进行微分和积分的符号运算，并擅长简化符号表达式。现在 MACSYMA 已能求解 600 多种数学问题，包括微积分、解方程和方程组、泰勒级数展开、矩阵运算、向量代数和数量级分析等。

通常，称 DENDRAL 和 MACSYMA 为第一代专家系统。与以后的专家系统相比，它们具有以下特点：1) 它们是高度专门化的系统。这两个系统的设计和实现完全是针对具体应用领域的，虽有高性能，但不易于其它领域；2) 这两个系统主要注意的是系统的性能，忽略了解释能力和知识获取能力，这正是以后的专家系统予以重视的问题。

70 年代中期，先后出现了一批卓有成效的专家系统，在医学领域尤为突出。其中有代表性的系统有 MYCIN, CASNET, INTERNIST, PROSPECTOR, AM, HEARSAY 等系统。另一方面，AI 基本技术的研究进一步发展，取得一些重要成果。不精确推理、产生式系统、框架等技术都是在这一时期产生的。专家系统的观点开始被广泛地接受。

MYCIN 系统是由斯坦福大学的 E.H.Shortliffe 等人于 1972 年研制的诊断和治疗感染性疾病的专家系统。MYCIN 可以用英语与用户对话，回答用户提出的问题。MYCIN 系统第一次明确使用了以后在专家系统中较为流行的知识库的概念并在系统中使用了不精确推理技术。MYCIN 对专家系统的理论和实践都有极大贡献，许多系统都是在 MYCIN 经验的基础上研制的。

几乎与 MYCIN 系统同时开发的 CASNET 系统是 Rutgers 大学的 S.M.Wiss 和 C.A.Kulikowski 等人研制的。它可以诊断和治疗青光眼疾病。这是最早提出把一个专家系统用于多个不同领域设想的专家系统，所以设计者赋予它一个与应用领域无关的名字 CASNET (Causal Association NETwork)。

用于诊断内科疾病的专家系统 INTERNIST (现在称为 CADUCEUS) 是匹兹堡大学的 H.E.Pople 等人于 1974 年研制的。INTERNIST 是目前知识库最大的专家系统，包含 500 多种内科疾病，3500 多种疾病表现 (病状、征兆等) 和 100,000 种疾病与疾病表现之间的联系。

卡内基-梅隆 (Carnegie Mellon) 大学的 L.D.Erman 等人设计的 HEARSAY 系统能听懂连续的讲话，该系统始于 70 年代初，1973 年完成了 HEARSAY-I，1977 年完成

了 HEARSY-II。HEARSAY-II 有一千多条词汇，能以 60MIPS (Million Instructions Per Second) 的速度理解连贯的语言，正确率达 85%。HEARSAY 系统在综合多种来源的知识，在不同抽象级上解决问题等方面为 AI 的研究提供了宝贵的经验。

PROSPECTOR 系统是由 Standford 国际研究所 (SRI) 的 R.O.Duda 等人于 1976 年开始研制的。这是用于寻找矿藏的专家系统。Duda 等人用了一年的时间建立了 PROSPECTOR 的基本模型并装入了 Kuroko 型硫化物等三种矿藏的知识，到 1980 年，PROSPECTOR 系统已拥有 15 种矿藏的知识，PROSPECTOR 是用语义网络表示地质知识的，它很好地协调了多个专家的多种矿藏的知识模型。目前，它已存入了 20 多名第一流地质专家的知识。

这一时期出现的专家系统与第一代专家系统相比，在以下几方面有所改进：1) 大多数系统都使用自然语言与用户对话，从而使不懂计算机的用户也能方便地使用该系统了；2) 大多数系统具有解释功能，使用户清楚地了解系统的解题过程，提高用户对系统的信任程度；3) 许多系统使用了不精确推理方法，增强了系统的表达能力；4) 许多系统把具有一定普遍意义的推理方法与大量同领域有关的专家知识结合起来，从而使这些系统具有一定的通用性。表 1-1 回顾了人工智能历史上的重大事件。

表 1-1 人工智能历史上的重大事件

时 期	重 要 事 件
二次大战前奠基阶段	形式逻辑 认知心理学
战后时期 1945-1954 AI 的准备阶段	计算机出现和发展 H.Simon N.Wiener 提出控制论 A.M.Turing 提出“计算机器和智能” 关于控制论的 Macy 会议
AI 形成年代 1955-1960 AI 研究的开始阶段	计算机不断发展 信息处理语言 I(IPL-I) 关于 AI 的 Dartmouth 暑假讲座, 1956 通用问题求解程序(GPS) 信息处理心理学
发展和转向阶段 1961-1970 研究通用问题求解程序	A.Newell 和 H.simon, 人类问题求解 LISP 启发式 机器人学 下国际象棋程序 DENDRAL 专家系统(斯坦福大学)

取得成果和成功的年代，1971-1980, 提出基于知识的系统	MYCIN 专家系统(斯坦福大学) HEARSAY-II 专家系统(卡内基-梅隆大学) MACSYMA(麻省理工学院) 知识工程 EMYCIN(斯坦福大学) GUIDON(斯坦福大学) PROLOG Herbert Simon 获诺贝尔奖 知识工程 EMYCIN GUIDON
转向应用 1981- 国际竞争和商业化	PROSPECTOR(斯坦福国际研究所) 日本的五代机计划 E.Feigenbaum 和 P.Mc Corduck, 第五代计算机 美国的微电子和计算机技术公司(MCC) INTELLECT(A.I.C) 多家 AI 公司

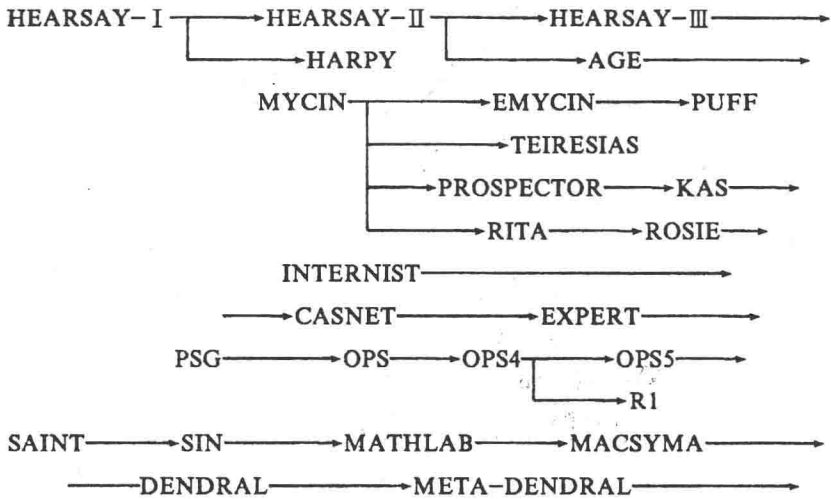


图 1-1 部分专家系统和建立专家系统语言的演变过程

随着专家系统的发展,人们在开发专家系统的实践中发现专家系统的瓶颈问题是知识获取,并由此提出建造专家系统的中心任务是知识获取工作。为了加快专家系统的研制进度,人们先后设计了一批用于建造和维护专家系统的工具系统。到目前为止,已出现的工具系统大致可以分为三类:第一类是可以通过实例自动形成知识的系统,例如,Meta-DENDRAL 可以由大量的实例为 DENDRAL 系统积累知识。Meta-DENDRAL 是一个比较成功的系统,它已总结出一些化学家没有发现的知识。这一类系统是比较理想的知识获取系统,但由于目前对归纳学习的机理认识肤浅,因此这一类系统大多处于探索阶段。第二类虽不能自动获取知识,却可以帮助人们建造知识库。例如,TEIRESIAS 系统可以理解专家用自然语言描述的知识,可帮助专家发现知识库的缺陷,提出如何改进知识的建议。在 TEIRESIAS 帮助下,专家无需了解知识库的任何实现细节,就可以很方便地“调试”知识库。这一类工具系统是目前实现知识获取的主要手段。第三类是 70 年代后期开始出现的骨架系统,它多是由某个已获得成功的具体专家系统演变而来的。例如 EMYCIN (Essential MYCIN) 骨架系统是抽去了 MYCIN 中的医学知识,保留系统的基本骨架而形成的。CASNET 后来发展成 EXPERT 骨架系统。HEARSAY-III 是由 HEARSAY 演变而来。但也有一些骨架系统不是由某个具体的专家系统演变的,例如 OPS5 是由 Newell 和 Simon 等人 1972 年作为研究人类认识模型的产生式系统语言 PSG 发展来的。以上这些骨架系统的出现是专家系统的重大进展,它大大缩短了专家系统的研制周期。图 1-1 描述了某些专家系统的演变过程。

§ 1.2 基本结构和类型

什么是专家系统?对此,目前并没有统一的定义。一般认为:专家系统是一个计算机程序,它能对某些困难问题给出人类专家水平的解答,并具有以下特点:

- 透明性——指系统的行为和系统本身能被用户所理解;
- 启发性——运用规范的专门知识和直觉的评判知识进行问题求解;
- 灵活性——可不断接受新知识,调整有关控制信息,使其与整个知识库达到协调。

由于专家系统主要依靠知识来发挥其功能,因此有时也称为“基于知识的系统”(Knowledge-based System)。专家系统是一门新兴的交叉学科,因而尽管许多技术比较成熟,但尚未形成完整的体系,有些领域还未能突破。

一、专家系统的基本结构

一个专家系统的基本结构如图 1-2 所示。它由六部分组成:知识库,综合数据库,推理机,知识获取器,解释器和人机接口。其中知识库,综合数据库和推理机是目前大多数专家系统(或其它知识库系统)的主要成份。知识获取器,解释器和人机接口是所有专家系统都具有的三个模块。但它们并没有真正得到实现。简单的专家系统并不一定具备这三个模块。

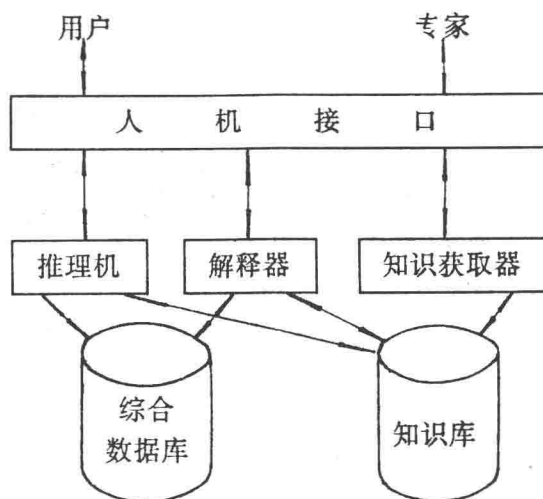


图 1-2 专家系统的基本结构

1. 知识库

知识库是专家系统的重要组成部分，用以存放领域专家提供的专门知识，权威性知识，多种事实，启发式规则和问题求解规则。专门知识含有与领域问题相关的书本知识（理论知识），常识性知识，也含有专家从经验得到的启发式知识，如领域内有关的定义，定理和确定的及不确定的运算（推理）法则等。因为专家系统的问题求解是运用专家提供的专门知识来模拟专家的思维方式进行的，所以知识是决定一个专家系统性能是否优越的关键因素。一个专家系统的能力就取决于其知识库中含有知识的数量和质量。知识库的建造是专家系统建造的中心工作，也是专家系统建造过程中最为繁琐和棘手的事情。知识工程师一方面要频繁地采访专家，从同专家的对话和专家以往处理问题的实例中抽取专家知识（称为知识获取），另一方面，要选择合适的数据结构把获取的专家知识进行形式化存入知识库中（称为知识表示）。知识获取是一件既费时又困难的事情，专家知识包含有那些仅存于专家大脑中，遇事能随机应变，但专家自己尚未进行过条理性组织的启发式知识，典型的如“遇到什么情况，采取什么措施”的知识，这些知识本身可能是不完备的，甚至有相互矛盾的地方，但它们对实际问题的求解却非常有效，是体现专家水平的一个重要方面。知识工程师需要对这些知识进行收集，整理和提炼。知识表示是目前专家系统甚至 AI 各个领域研究最热门的一个课题。各种知识表示模式已经形成了不少，如常用的规则表示，框架表示，逻辑表示和语义网络表示等，但知识表示这个领域目前还没有形成比较成熟的理论，一种知识表示模式的优劣评价还没有可以使用的标准形式。但是，一个专家系统中知识表示模式的选取能否合适地描述其相应的专门知识，是否有利于知识库中知识的使用和完善，则直接关系着系统设计的成败。

2. 综合数据库

综合数据库反映具体问题在当前求解状态下的符号或事实的集合，它存储有领域内的初始数据和推理过程中得到的各种中间信息。

3. 推理机

推理机是专家系统的核心，它理解用户提出的问题，根据用户提供的事实和知识库中的知识，在一定的控制策略指导下搜索知识库，推导出结论。推理机的控制策略常用的有数据驱动的前向推理方式，目标驱动的逆向推理方式和前向逆向结合的混合推理方式三种，少数系统已用到元级控制方式。控制策略的选择常与专家系统求解的问题类型有关，选择得合适与否将影响着系统对知识库中知识的使用效率，进而影响着系统求解的效率。知识的选取过程在控制策略的控制下有时还需要结合一些启发式知识，因为可用知识的使用还存在有优选程度等因素的制约。专家系统的推理过程由于实际问题的证据和知识库中的知识常常含有不精确性成份，其推理因而常常是不精确推理。

4. 解释器

解释器用来解释系统对用户的动作，使用户能理解系统的行为。解释器回答用户对系统的提问，对系统得出结论的求解过程或系统的当前求解状态提供说明，使得非专家用户能理解系统的问题求解，加强对求解结果的信心，使得专家和知识工程师易于发现并定位系统知识库中的错误，也使得问题领域的专业人员或初学者能得到问题求解过程的直观学习。

5. 知识获取器

知识获取器负责从领域专家处获取知识，并以适当的形式将其存入系统的知识库中。知识获取器用来实现专家系统的自学习。通过系统的不断运行，一方面知识获取器以传授方式而不是编程方式接受专家对知识库的扩充和修改。传授方式指专家同系统的直接对话而无需知识工程师的干预，知识获取器具备有知识变换手段，能够把与专家的对话内容变换成知识库中的内部知识或用以修改知识库中的已有知识；另一方面，通过用户对系统每次求解结果的反馈信息，知识获取器自动进行知识库中知识的修改和完善，并可在系统的问题求解过程中自动积累，形成一些有用的中间知识，如启发式规则，经过适当的实例验证以后，自动追加到知识库中，用以不断扩充知识库，增强和完善系统的性能。知识获取器有时还兼有在知识库建造过程中用以部分代替知识工程师进行专门知识的自动获取功能。

6. 人机接口

人机接口是把用户或专家的要求和所提供的事实传给系统，并把系统处理的结果以一定方式送给用户。

二、专家系统与传统应用程序的关系

目前，计算机应用程序也利用到一些专家知识，有的水平与难度也较高。那么专家系统与这种传统的应用程序有什么关系呢？一方面，一个专家系统也是一个计算机程序，因此它同传统程序在程序的设计和实现方面有许多共同的特征。如一个专家系统的开发，也需要进行相应的分析，设计，编写，调试，维护等阶段，各个阶段也会用到与传统程序开发相同的一些技术和手段。但另一方面，专家系统又是一个智能程序，它能体现出一些传统程序所不具备的许多优良特性。

1. 专家系统知识的组织形式

专家系统把求解问题的知识分为三级层次加以组织：数据级（综合数据库），知识库级和控制级（推理机）。不同层次的知识采用不同的实现方法：数据级知识是特定的具体问题所具有的，它们的组织方式与在传统程序中一样，不过在专家系统中其数据库的结构可能更复杂，知识库级知识选用合适的知识表示方法进行显式表达，这一层次的知识由于在知识表示方法中考虑了数据结构的模块性、清晰性等特点，可以在不影响系统结构的前提下进行扩充和完善；控制级知识的组织一般采用固化的方式在专家系统的建模过程中被设计和固定下来，但专家系统的推理机中有时还需要结合一些关于选取可用知识的启发过程，与这些启发过程相关的知识在考虑专家系统的通用性时，需要同知识库级知识一样进行显式表示和推理。而在传统的程序中，知识库级知识和控制级知识合二为一，都固化在程序的设计过程中，从而传统程序只有数据级和程序级两级结构。专家系统中这种把领域知识放入知识库，同运用知识库的推理机分开组织的结构体现了知识库的灵活性，便于知识库的扩充、完善和解释机制的实现，而传统程序的修改和完善极为困难，它只有通过程序员修改程序的方式才能实现。

2. 专家系统的符号推理

传统程序以数据为处理对象，常用于科学计算和事务性数据处理，而专家系统更强调符号处理，这也是所有AI程序区别于传统程序的一个重要特征。

3. 专家系统的控制特性

传统的应用程序受程序（或数据）的控制，按规定步骤逐条执行程序，但专家系统是在环境控制下进行推理。因此后者比前者更及时、灵活地反映环境变化过程。

4. 专家系统的启发性

专家系统的求解问题以不良结构问题为特征，不良结构问题的求解知识除了领域内的理论知识，常识性知识之外，还含有专家个性的启发式知识，这些启发式知识可能是不完全的，不精确的，但它们在信息不完全、不精确的情况下对求解复杂或高难度的问题却能进行高水平的分析、推理。专家系统在问题的求解过程中结合和运用了这些启发式知识（甚至结合了多个专家的知识），模拟专家在问题求解中的思维过程，从而系统具有启发式的特征。传统程序设计一般是基于算法的设计，针对确定的问题，问题求解一般存在可以使用的数学模型。在复杂些的算法设计过程中，老练的程序人员可能也会使用一些启发式的经验知识，而大量启发式知识的需要是专家系统的问题环境（即不良结构问题）所决定的。这些问题中有一些常见的特点，如大的解空间和不精确推理等。

5. 专家系统的透明性

一个基于知识的系统，如果它对问题的求解只给出简单的结论而缺乏足够的说明，对于那些不了解系统内部知识的用户来说，其结论容易被看成“黑箱”中的预言，难以或无法被他们接受。专家系统的解释机制运用知识库中被求解过程使用的知识和产生的各种中间结果，它可以回答用户关于求解结果提问的“为什么”，给出求解过程的推理路径显示。这种解释机制提供了系统的一种透明界面，提高了用户对专家系统的可接受性。同时通过这种解释机制的推理路径显示，专家能够检查求解过程中知识运用的合理与否，在问题的求解结果不满意时，可进而发现推理的故障所在。另外，知识工程师也可借助解释机制检查知识形式化过程的一些失误。

6. 专家系统的灵活性

由于知识库和推理机的相对独立和知识库中知识的显式表达,使得专家系统知识库的修改和扩充比较灵活、方便。专家系统的灵活性是指系统具有在非编程状态下不断扩充和完善知识库,进而不断改善系统性能的能力,即自学习能力。一个专家系统建造完之后,推理机按照具体求解问题的不同特点,能够从知识库中选取不同的对应知识构成问题的求解序列。从某种程度讲,推理机的相对固定和求解问题的相对灵活性也是专家系统灵活性的一个方面。

上述特点是专家系统区别于基于算法设计的传统程序的几个主要特征。在这些特征中,知识的三级结构组织是专家系统建造方面的特征;启发性、灵活性和透明性是专家系统表现出来的三大智能特征;符号推理、控制特性和多知识源(即多专家)的知识协调也是专家系统技术中比较重要的一些方面。这些特征实质上都是专家系统所求解的问题性质决定的,这些特征决定了专家系统在这些方面的优良特性。

三、专家系统与人工智能的关系

专家系统是人工智能的一个重要应用分支,它继承和运用了 AI 各领域研究的许多基本方法和基本技术,如启发式方法,符号推理,知识表示技术等。但是,专家系统技术自 60 年代中期产生以来,在 AI 领域中脱颖而出,从范例工具到系统开发策略等方面都形成了一套与 AI 其它分支(如自然语言理解,机器人,机器视觉等)所不同的体系,它代表着 AI 应用的主要方面。

1. 专家系统强调在专家的水平上处理高难度的问题,现已开发的专家系统中已有成功的例子实现了这一点。这是目前 AI 其它研究领域所无法比拟的,就自然语言理解,机器人等领域目前的技术水平来说,虽然也开发了一些程序和系统,但这些程序和系统的智能水平还是相当有限的,远没有达到“专家”水平。

2. 专家系统强调专门领域的问题求解策略,而削弱了独立于问题领域的通用求解策略的应用。专家系统一般都是通过牺牲问题求解的通用性而换取专门领域的高性能,它们强调专家领域所特有的专门知识和求解策略,而在 AI 研究的其它领域,比较注重较为通用的“弱方法”的应用。

3. 专家系统能够说明自身的推理过程,对系统的求解结论能够给出解释,提高了系统的可接受性,这与其它领域目前无法相比。

4. 较为成功的专家系统其问题领域一般都类属于下列范畴:解释 (Interpretation), 预测 (Prediction), 诊断 (Diagnosis), 规划 (Planning), 监视 (Monitoring), 设计 (Design), 教学 (Instruction), 决策 (Decision-making), 调试 (Debugging), 控制 (Control) 等。

5. 在 AI 研究的各个领域,专家系统代表了 AI 应用的主要方面,它在工业和政府部门所能直接起到的巨大作用已为人们所重视, AI 其它领域的发展都存在结合知识库专家系统研究的趋势。

四、专家系统与知识工程的关系

随着专家系统的发展,围绕着开发专家系统而形成的一整套理论,方法和技术发展成

为一个新的学科——知识工程 (Knowledge Engineering)。知识工程是一门艺术，它应用 AI 原理和方法求解那些需用专家系统才能解决的问题。具体地讲，知识工程是设计和制造专家系统及其它知识库程序的技术，它结合了科学、技术和方法论三个方面的因素，研究专门知识的获取，形式化和计算机实现。知识库程序是指由知识库、综合数据库和推理机三部分组成的所有系统。由于专家系统的核心是知识，其核心技术在于知识的获取、表示和利用。所以，专家系统研究人员普遍接受了知识工程这一术语。知识工程的概念是 1977 年在专家系统技术发展的基础上提出来的，它正在发展成为指导专家系统开发的一个理论工具。所以，可以这样认为：专家系统是知识工程的一个应用。一个专家系统是一个知识库程序，但专家系统对透明性和灵活性的要求又作为它区别于其它知识库程序的独特之处。图 1-3 给出了人工智能、知识工程及传统程序设计三者的关系。

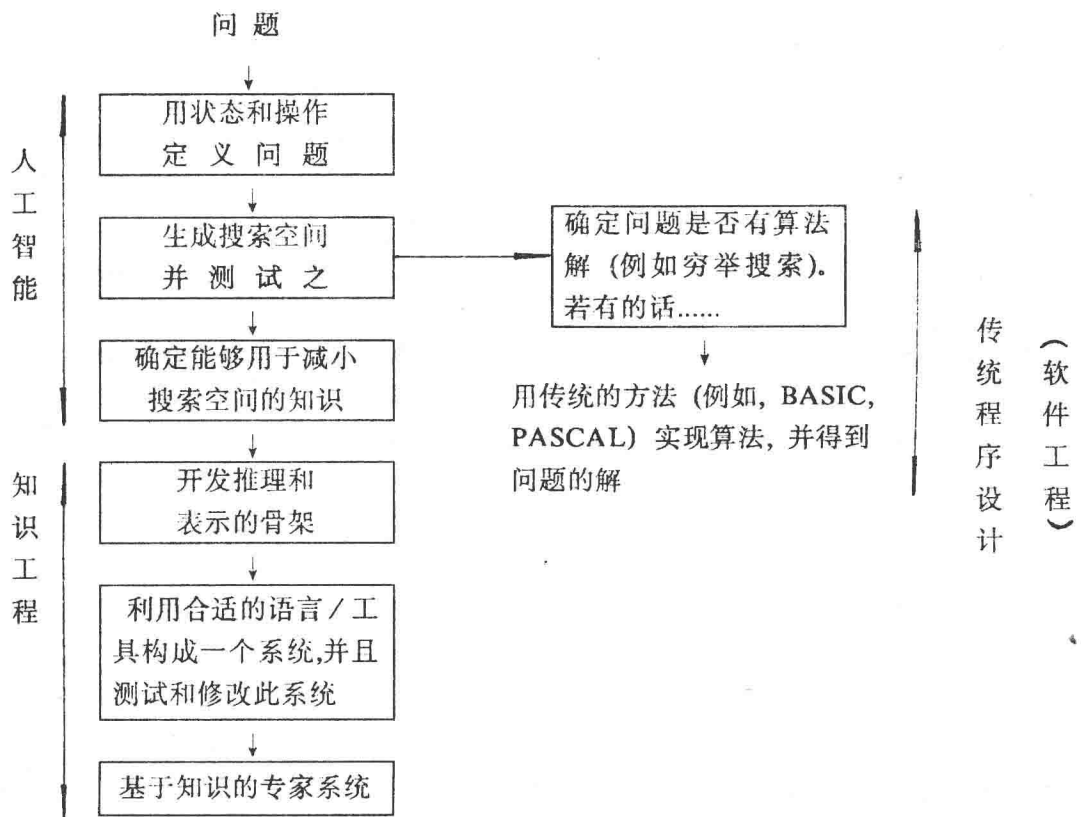


图 1-3 AI 和知识工程的区别

五、专家系统的类型

从应用角度出发, 尽管处理的问题类型不同, 但开发一个专家系统都应满足如下条件: 1) 存在公认的专家; (2) 专家的知识能明确地表示出来; 3) 专家是通过启发式方法解决问题的。一般来说, 按照应用来分, 专家系统可以分为以下各种不同的类型:

1. 解释型系统(Interpretation Systems)

解释型系统根据可得到的数据分析这些数据所支持的问题结论或问题状态。这类系统的范畴包括监视数据分析, 口语理解, 图像分析, 化学结构说明, 信号解释和其它智能分析。解释的要求是: 对于给定的数据找出一致性和正确性的问题性质。只有在存在充分的数据证据能够排除某一种可能的问题性质时, 才能放弃这个性质。解释型系统可能遇到的关键问题是: 可得到的数据常常带有噪声和误差, 它们可能不齐全, 有错或者带有与问题无关的, 甚至会引起相互矛盾的数据成份。这就要求解释型系统克服如下困难: 1) 能够在数据不完整的情况下进行问题的分析和解释; (2) 在数据之间存在矛盾时, 应能先假设哪些成分是可信的, 然后再进行验证; (3) 数据不可靠时, 解释过程必然也难以可靠, 为了加强解释结果的可信度, 系统要能够识别出不确定或不完整的信息, 识别出解释过程中哪些是假设的成份; (4) 解释型问题的推理链可能很长很复杂, 关于解释过程中数据的支持作用, 系统最好能够给出透明性说明。

2. 预测型系统(Prediction Systems)

预测型系统根据从过去和当前获得的信息得出的模型来推断未来可能发生或出现的情况。这类系统的范畴包括天气预报, 人口预测, 交通预测, 军事预测等。预测需要关于时间的推理, 通过过去和当前的数据来拟合模型的基本参数以建立动态的预测模型。这些模型必须能反映出各种可能引起现行环境随时间改变的因素和这些因素的变化方式。从模型推理出来的结果形式是预测的基础。预测型系统可能遇到的问题有: (1) 信息不完全, 这包括过去和现状数据的短缺或未来的参数不齐全两个方面。如果预测信息是完备的, 这样的问题环境不构成不良结构问题, 没有建立专家系统的必要; (2) 如果不考虑概率的估算, 预测的结果可能有大量的可能情况, 预测专家系统应能运用假设推理来说明这些情况, 并分析它们对输入数据变化的灵敏度; (3) 因为未来的数据迹象或参数可能需要从许多地方、部门去寻找, 预测专家系统应能协调和运用不同数据源的知识; (4) 预测理论都建立在一定的条件之上, 一个问题的遥远未来与较为接近的时期中所发生的事件密切相关, 但那样的事件目前可能还无法预知, 预测专家系统最好应该有能随时间变化不断适应这些事件的自适应能力。

3. 诊断型系统(Diagnosis Systems)

根据观察到的数据(或称事实)来推断一个对象系统的功能故障。这类系统的范畴包括医疗、电子、机械及软件等领域的诊断。一个诊断系统必须先了解对象系统及各子系统之间的关系和相互影响, 然后将观察数据说明的行为(故障行为)同可能的故障原因进行对照, 找出故障所在。诊断的方式有两种: 一种是建立故障行为同故障原因的对照表; 另一种方式将对象系统的结构知识同其结构、行为和各子系统的故障知识结合起来, 从观察到的数据来推理可能的故障所在。诊断型系统可能遇到的主要问题有: (1) 一些故障有时被其它故障的病状所掩盖。在现有一些系统中, 通过假设只存在单故障源而避开了这一问题; (2) 故障有时是间歇性的, 为了发现故障, 诊断系统有时需要施加一些必要的强制措施