

高等学校教材

# 知识工程

徐良贤 蒋智平 王士同 编著

电子工业出版社

# 知 识 工 程

徐良贤 蒋智平 王士同 编著

郭福顺 主审

電子工業出版社

## 内 容 提 要

本教材的参考教学时数为50学时。全书共分六章：第一章介绍知识工程的基础和工具、专家系统的分类和构造等概念；第二、三、四章通过实例详述知识表示、知识控制、知识获取；第五、六章讲述小型与大型知识系统的构造、知识工程各种开发工具。全书内容丰富，包括了现有知识工程、专家系统、人工智能书中的主要内容。

本书是大学本科专业课教材，也可供人工智能科学工作者参考。

## 知 识 工 程

徐良贤 蒋智平 王士同 编著

责任编辑 邓又强

\*

电子工业出版社出版（北京市万寿路）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京密云华都印刷厂印刷

\*

开本：787×1092毫米1/16印张：10.5字数：249千字

1991年4月第1版 1991年4月第1次印刷

印数：1500 册 定价：2.95元

ISBN7-5053-1205-7/TN·357

# 目 录

|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| <b>第一章 绪论</b> .....           | ( 1 )  |
| § 1.1 人工智能和知识工程简史 .....       | ( 1 )  |
| § 1.2 专家系统的结构和分类 .....        | ( 2 )  |
| § 1.3 知识工程的基础 .....           | ( 5 )  |
| § 1.4 专家系统构造 .....            | ( 6 )  |
| § 1.5 知识工程工具 .....            | ( 8 )  |
| 习题 .....                      | ( 9 )  |
| 参考文献 .....                    | ( 9 )  |
| <b>第二章 知识表示</b> .....         | ( 10 ) |
| § 2.1 知识的含义 .....             | ( 10 ) |
| § 2.2 知识的获取方法简介 .....         | ( 11 ) |
| § 2.3 知识的各种表示方法 .....         | ( 12 ) |
| 2.3.1 谓词逻辑及对应的表示法 .....       | ( 13 ) |
| 2.3.2 语义网络 .....              | ( 16 ) |
| 2.3.3 产生式系统及对应知识表示法 .....     | ( 20 ) |
| 2.3.4 直接(模拟)表示法 .....         | ( 25 ) |
| 2.3.5 语义原语 .....              | ( 29 ) |
| 2.3.6 框架脚本表示法 .....           | ( 34 ) |
| § 2.4 不精确知识的表示方法 .....        | ( 37 ) |
| 2.4.1 模糊集合论 .....             | ( 38 ) |
| 2.4.2 逻辑推理模式 .....            | ( 40 ) |
| 习题 .....                      | ( 41 ) |
| 参考文献 .....                    | ( 42 ) |
| <b>第三章 知识控制</b> .....         | ( 43 ) |
| § 3.1 知识控制简介 .....            | ( 43 ) |
| § 3.2 MYCIN系统的知识控制 .....      | ( 43 ) |
| 3.2.1 上下文树、规则和特性表 .....       | ( 44 ) |
| 3.2.2 似然推理 .....              | ( 48 ) |
| 3.2.3 系统的控制策略 .....           | ( 51 ) |
| § 3.3 PROSPECTOR系统的知识控制 ..... | ( 55 ) |
| 3.3.1 分块语义网络和推理网络 .....       | ( 55 ) |
| 3.3.2 似然推理——主观贝叶斯方法 .....     | ( 58 ) |
| 3.3.3 系统的控制策略 .....           | ( 63 ) |
| § 3.4 HEARSAY-II系统的知识控制 ..... | ( 66 ) |

|                              |                |
|------------------------------|----------------|
| 3.4.1 黑板 .....               | ( 57 )         |
| 3.4.2 知识源 .....              | ( 68 )         |
| 3.4.3 系统的控制策略 .....          | ( 71 )         |
| § 3.5 基于不明推理的专家系统基础 .....    | ( 72 )         |
| 3.5.1 不明推理、因果关系和证据 .....     | ( 72 )         |
| 3.5.2 诊断问题求解 .....           | ( 73 )         |
| 3.5.3 GSC模型 .....            | ( 74 )         |
| 习题 .....                     | ( 77 )         |
| 参考文献 .....                   | ( 78 )         |
| <b>第四章 知识获取 .....</b>        | <b>( 80 )</b>  |
| § 4.1 知识库的编辑程序KAS .....      | ( 81 )         |
| § 4.2 TEIRESIAS系统 .....      | ( 86 )         |
| 4.2.1 元知识 .....              | ( 87 )         |
| 4.2.2 TEIRESIAS系统的知识获取 ..... | ( 91 )         |
| § 4.3 骨架系统HEARSAY-Ⅲ .....    | ( 98 )         |
| 4.3.1 黑板结构和知识源 .....         | ( 98 )         |
| 4.3.2 推理策略 .....             | ( 99 )         |
| § 4.4 AM系统 .....             | ( 100 )        |
| 4.4.1 概念及规则的表示与组织 .....      | ( 100 )        |
| 4.4.2 控制策略 .....             | ( 102 )        |
| 习题 .....                     | ( 103 )        |
| 参考文献 .....                   | ( 104 )        |
| <b>第五章 知识系统的构造 .....</b>     | <b>( 105 )</b> |
| § 5.1 小型知识系统的研制与开发 .....     | ( 105 )        |
| 5.1.1 小型知识系统的作用 .....        | ( 105 )        |
| 5.1.2 构造小型知识系统 .....         | ( 105 )        |
| § 5.2 大型知识系统的研制与开发 .....     | ( 116 )        |
| 5.2.1 大型知识系统的作用 .....        | ( 116 )        |
| 5.2.2 构造大型知识系统 .....         | ( 117 )        |
| 习题 .....                     | ( 129 )        |
| 参考文献 .....                   | ( 130 )        |
| <b>第六章 知识工程开发工具 .....</b>    | <b>( 131 )</b> |
| § 6.1 引言 .....               | ( 131 )        |
| § 6.2 面向过程的语言及符号处理语言 .....   | ( 132 )        |
| § 6.3 知识工程语言 .....           | ( 132 )        |
| 6.3.1 EMYCIN .....           | ( 133 )        |
| 6.3.2 EXPERT .....           | ( 135 )        |
| 6.3.3 OPS 5 .....            | ( 137 )        |
| 6.3.4 M.1 .....              | ( 140 )        |

|                     |       |
|---------------------|-------|
| § 6.4 系统构造助手.....   | (146) |
| § 6.5 支持软件.....     | (148) |
| 习题 .....            | (150) |
| 参考文献 .....          | (150) |
| 附录 MYCIN运行的例子 ..... | (152) |

# 第一章 绪 论

## § 1.1 人工智能和知识工程简史

人工智能起源于本世纪五十年代,当时一些早期的计算机科学家已开始在计算机上编写符号程序来求解问题。自动演绎和问题求解方面的许多重要成果使人们极为兴奋和乐观。当Logic Theorist系统运用启发式问题求解方法证明了《数学原理》一书中大部分定理时,大多数人似乎认为庞大和快速的计算机最终会将一般问题求解的范围扩大到包括世界上所有富有挑战性的脑力活动。

实践中的许多挫折和失败最后使人们认识到还需要许多其他方面的成就。在过去二十年中,人工智能研究者们认识到与问题相关的知识对于解决重要问题的巨大作用。世界上大多数富有挑战性的脑力问题并不服从一般的问题求解策略,即使增加了一般有效的启发性知识也无济于事。为了解决人类某些特殊领域(如工程、医疗或程序设计)中的问题,机器的问题求解器必须知道人类问题求解者在该问题上所知道的东西,尽管计算机在许多方面超过了人类,如速度和一致性,但是这并不能弥补它的无知。简单地说,人工智能研究者已认识到不是高的“智商”而是专门的技能才使一个人成为专家。为了使一个快速且一致的符号处理器工作得象人类专家那样好,人们必须为它提供人类专家所具有的那些专门技能,这就导致了专家系统和知识工程的出现。

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。专家系统特别强调高性能,推理是它的重要组成部分,正由于这一点,使专家系统不同于一般的数据库系统和知识库系统。在一般系统中,只是简单地存储答案(我们可以在机器中直接搜索答案)。而在专家系统中所储存的不是答案,而是进行推理的能力和知识。专家系统是一门综合性很强的学科,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,一般将专家系统的设计人员称为知识工程师,将参加专家系统开发的人类专家称为领域专家。围绕着专家系统而开展的一整套理论、方法、技术等各方面的研究形成了一门新兴学科——知识工程。有关知识工程的活动可以定义为:知识工程师的艺术就在于运用人工智能的原理和工具,处理困难的需要专家知识求解的应用问题,即知识工程师从人类专家那里抽取他们求解问题的过程、策略和一些经验规则,并把这些知识加入专家系统中。适合于构造一解释推理路线的知识获取、知识表示,知识控制的一些技术问题是专家系统设计中的重要问题,构造这种智能系统的技术既是程序设计的一部分,又是它的扩充。

早期的知识工程应用出现在大学里,并且强调与人类专家知识水平媲美。Dendral系统和Macsyma系统最先达到专家水平。Dendral系统从物质的质谱图及核磁共振数据中识别它的化学分子结构。Macsyma系统对复杂的数学表达式进行处理和化简。这两个系统统过十多年的改进,在其特定领域中都超过了它们的创立者和所有其他人类专家。

从七十年代开始, 人工智能研究人员开始研究知识工程的一些应用。到七十年代末, 有些项目获得了重要成果。例如, Mycin系统包含了大约400条启发式规则, 被用来诊断和治疗血液感染疾病。Prospector系统可为地质学家提供“硬岩石”矿藏勘探的咨询, 并准确预测了开采价值达一亿美元的钨矿位置。Hearsay-II系统利用多个独立的协作专家系统, 通过被称为“黑板”的全局数据库进行通讯以理解限于一千字词汇表的连贯口语。

目前知识工程已应用于以下领域: 医疗诊断、设备维修、计算机配置、化学数据解释和结构解释、口语和图象理解、金融决策、信号解释、探矿、军用智能与规划、使用计算机系统的咨询和VLSI设计等。

注意, 由于在目前专家系统有时亦称作知识系统, 故本书中这两个概念是一致的。

## § 1.2 专家系统的结构和分类

目前大多数专家系统是基于规划的专家系统, 它基本上是扩充的产生式系统结构, 它有六个组成部分: 知识库、推理机、综合数据库、人机接口、解释程序和知识获取程序(如图1-1所示)。

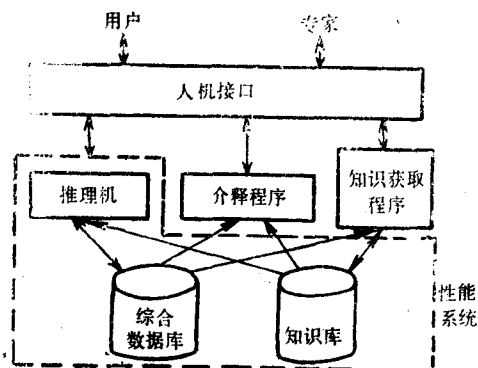


图1-1 专家系统的一般结构

知识库只存放不依赖于领域中具体问题的系统求解问题所需要的知识。知识的表示方法和知识的组织结构是设计知识库的重要问题。一般来说, 知识表示方案应简单易懂并能清晰、明确地表达领域专家的知识, 知识的组织结构应能增强知识的模块性, 使得对于知识的增删或修改不致于波及知识库中其它知识的变更, 以便于知识库的维护; 同时, 知识的组织结构应能尽量体现知识之间有意义的联系, 便于推理机检索某些相关的知识。这里所说的

知识是广义的知识, 不仅包括进行推理所需要的判断性知识, 也包括描述各种事实的叙述性知识。

综合数据库用于存放系统运行过程中所需要的和产生的所有信息, 包括问题的描述、中间结果、解题过程的记录等信息。数据库的组织、数据间的联系、数据的管理等是设计数据库时需考虑的重要问题, 这些问题在传统的程序设计中也经常遇到, 目前也有许多技术来处理这些问题, 这里就不详细讨论了。在专家系统中, 数据的表示与组织应尽量做到与知识的表示与组织相容, 以便推理机使用知识库中的知识和描述问题当前状态的数据去求解问题。

解释程序负责回答用户提出的各种问题, 包括与系统运行有关的问题和与运行无关的关于系统自身的一些问题。

知识获取程序负责管理知识库中的知识, 包括根据需要修改、删除或添加知识及由此引起的一切必要的改动, 维持知识库的一致性、完整性等方面。知识获取程序是实现系统灵活性的主要部件, 它使领域专家可以修改知识库而不必了解知识库中知识表示方法、知

识库的组织结构等实现上的细节问题,这大大提高了系统的可扩充性。

推理机负责使用知识库中的知识去解决实际问题。推理机的设计与实现一般与知识的表示方法与组织结构有关,但应使推理机的实现与知识的具体内容无关,以免知识的变更引起推理机的修改。若推理机完全与应用领域无关,有助于专家系统推广到其它领域中去,但这一点常不易做到。纯粹的形式推理可能会导致求解问题的低效率。当知识库较庞大或应用领域对求解问题的速度要求较高时,这种低效率往往是致命的弱点。专家系统常使用一些与领域有关的策略性知识和各种知识处理技术来提高求解问题的效率。知识处理技术包括搜索策略、似然推理和知识获取技术。第三章和第四章我们将重点介绍各种典型的知识处理技术。

人机接口负责把用户输入的信息转换成系统的内部表示形式,然后把这些内部表示交给相应的程序去处理。系统输出的内部信息也由人机接口转换成用户易于理解的外部表示形式显示给用户。大多数系统是使用自然语言作为人机交流信息的媒介。

专家系统作为人工智能的一个分支,它有着自己的以下的特点和风格:(1)专家系统具有较强的针对性。目前的大多数专家系统是针对某一狭窄的应用领域而研制的。例如 MYCIN 系统是用于诊断和治疗感染性疾病的;DENDRAL 系统是用于分析分子结构的;

(2)专家系统具有一定的智能,是一个在某个特定领域表现智能行为的系统。它的智能水平的高低,一方面取决于系统的知识覆盖该专门领域的程度,另一方面取决于系统对知识的有效使用;(3)专家系统具有较好的透明性。透明性是指系统的行为和系统本身能被用户所理解。大多数专家系统都具有解释功能,它能向用户解释它的行为的动机及它如何得出某些结论的推理过程,还能回答有关它自身的知识、能力等问题;(4)专家系统具有较强的实用性。专家系统的实用性来源于系统的高性能和透明性,使用方便也是提高实用性的一个重要因素。专家系统使用了大量高质量的专门知识,使得它处理问题的能力达到了很高的水平,有时甚至超过了人类专家。

目前,专家系统按其所处理的类型可分为十类,它们是:

**解释型:**这类系统分析所采集到的数据,进而阐明这些数据的实际含义,例如由质谱数据解释化合物分子结构的 DENDRAL 系统,由声纳信号识别舰船的 HASP/SIAP 系统、语言理解系统 HEARSAY-II 等都属于这类系统。这类任务对系统的主要要求是找出一致和正确的解释。这类任务的主要困难是输入数据常常包含着许多干扰信息并可能存在误差。因此,这类系统必须能够:(1)处理不完整的信息;(2)处理有矛盾的数据;(3)指出结论的可信程度(4)提供关于推理过程的解释。

**预测型:**这类系统根据处理对象过去和现在的情况推测未来的演变结果。例如,各种气象预报专家系统,谷物黑夜盗蛾虫害预测系统 PLANT/cd。这类任务对系统的主要要求是进行与时间有关的推理,这类任务的主要困难是需要处理随时间变化的数据和按时间顺序发生的事件。这类系统必须能够:(1)处理不完整的信息;(2)在多种潜在的未来情况中做出正确的选择;(3)利用各种渠道获得的数据;(4)长远的预测与近期预测互相影响。

**诊断型:**这类系统根据输入信息找出处理对象中存在的故障。例如血液凝结系统疾病诊断系统 CLOT、计算机硬件故障诊断系统 DART。这类任务对系统的要求主要是了解处理对象内部各部件的功能及其相互关系。这类任务的主要困难是故障与现象之间一般没有一一对应的映射。因此,必须能够:(1)考虑多种故障同时并存的可能性;(2)处理间歇性

故障；(3) 当所需要的某些数据的获取代价太高时，用一些替代数据；(4) 考虑数据本身的不可靠性；(5) 组合多种来源的知识。

**调试型：**这类系统给出已确认故障的排除方案。如感染病诊断治疗系统MYCIN、石油钻探机械故障诊断与排除系统Drilling Advisor。这类任务对系统的主要要求是给出较好的排错方法。这类任务的主要困难是根据处理对象和故障的特点从多种纠错方案中选择最佳方案。因此这类系统应该能够：(1) 了解各种纠错方案的作用及对处理对象的影响；(2) 评价各种纠错方案的效果；(3) 因“人”而异地选择对处理对象来说最合适的纠错方案；(4) 处理组合故障并避免多种纠错方案之间的相互抵消作用，当某种方案不能应用时，提供一种取代方案。

**维修型：**这类系统制定并实施纠正某类故障的规划。例如电话电缆维护系统ACE、诊断排除内燃机故障的DELTA系统。这类任务对系统的主要要求是能够根据纠错方法的特点，制定合理的行动规划并实施纠错计划，这类任务的主要困难在于按照某种综合标准制定代价最小的行动方案并能控制检修仪器工作。维修型专家系统应能够：(1) 判断纠错方法的目的和特点；(2) 评价各种方法的代价；(3) 在每种动作完成后检测是否达到了预定的目标或子目标；(4) 当某一子目标未达到时，采取一些补救的措施。

**规划型：**这类系统根据给定的目标拟定行动计划。分子遗传学实验设计系统MOLGEN、制定最佳行车路线的CARG系统等属于这类系统。这类任务对系统的主要要求是在一定的约束条件下，以较小的代价达到给定目标，这类任务的主要困难是对目标的描述通常是含糊的，目标与可用操作之间不一定完全匹配，并且各操作之间可能相互制约或抵消。因此这类系统应能够：(1) 预测并检测某些操作的效果，随时调整规划操作序列；(2) 随时关注并处理操作之间的相互制约和抵消作用；(3) 延迟考虑某些次要的细节问题，集中精力处理重要因素；(4) 当整个规划可由多重执行者完成时，考虑并行问题并协调这些执行者的活动。

**设计型：**这类系统根据给定的要求形成所需要的方案或图样描述，如计算机总体配置系统XCON，超大规模集成电路辅助设计系统KBVISI。这类任务对系统的主要要求是在给定要求的限制下，提供最佳或较佳设计方案。这类任务的主要困难是设计要求与可用元件不匹配并且多项设计要求之间存在重叠或隐含的联系。这类系统要能够：(1) 预测并检测某些中间设计结果并随时调整设计方案；(2) 协调各项设计要求，形成某种全局标准；(3) 在完成或修改各个设计子任务时要考虑全局标准，避免子任务之间相互重叠或冲突；(4) 进行关于空间、结构或树状等方面的推理；(5) 由关于设计的特征描述形成精确、完整的设计方案或图样。

**监督型：**这类系统多是由于完成实时监测任务。如航空母舰周围空中交通管理系统AIRPLAN、核反应堆事故诊断与处理系统REACTOR。这类任务对系统的主要要求是随时收集有关处理对象的各种数据，并把这些数据与预期的数据相比较，一旦发现异常现象立即发出报警信号。这类任务的主要困难是随时收集处理对象以各种方式发出的有意义的信号，建立处理对象的各种特征随时间变化的数据模型，并能快速鉴别信号异常的原因并及时地、准确地确定是否需要报警。因此这类系统必须能够：(1) 直接接收来自处理对象的信息，及时处理反应对象各种特征的大量信息；(2) 进行与时间有关的推理；(3) 一旦发现异常，要迅速判断其起因及后果的严重程度；(4) 明确指出故障及起因，最好还能提供纠

错方案。

**控制型：**这类系统通常完成实时控制型任务。它们大多是监督型和维修型的合成体。因此任务对系统的要求任务难点和系统的功能也常表现为这两类系统相应部分的组合。例如维持钻机最佳钻探流特征的MUD系统、MVS操作系统的监督控制系统YES。

**教育型：**这类系统一般是诊断型和调试型的合成体。它们主要用于教学和培训任务。这类任务的主要困难在于学生错误表现形式的多样化，错误的本质隐匿在学生的言行中。这类系统必须能够：(1) 根据学生的言行建立反应学生知识状况的学生模型；(2) 根据学生类型采用合适的教材；(3) 根据学生的特点，选择容易被学生接受的教学手段。例如GUIDON系统、STEAMER系统等。

### § 1.3 知识工程的基础

知识工程主要研究如何利用知识求解通常需要人的智能才能解决的问题。和大多数工程领域一样，知识工程既是一门科学，也是一项技术，既有理论，又有实践。目前，这门学科有下列三个特点：(1) 由于专家系统求解通常需要人类智能才能解决问题，所以它们显示了某些与大多数人造的或自然的智能问题求解系统的共同性质；(2) 任何特定专家系统的组织和设计必须反映问题的类型和问题的复杂性以及用来解决问题的启发式知识的能力和形式。虽然知识工程出现的时间很短，但是它给出了在各种环境下最佳地组织专家系统的若干有益的描述；(3) 虽然知识能用来产生智能性动作，但是它自身并没有给出抽取和认识这种潜在能力的方法。因此，在建立一个实际的专家系统时，知识工程师必须将知识工程化，即把它转换成可以应用的形式。知识的工程化和智能问题求解是知识工程的两大基础。

知识工程中的基本假设是“知识就是力量”。只有大量的专门知识才能使专家系统在解决复杂的难题时达到高性能，而具体的推理方法只是为系统使用这些知识提供了某种形式化的手段。一般地说，知识是特定领域中的描述、关系和过程。

描述——知识库中的描述识别和区分对象以及对象的类。它们是用某种语言写成的；

关系——它是知识库中的一种特定描述，表示知识库中对象间的依赖性和关系性。典型关系有分类学关系、定义性关系和经验性联想关系；

过程——在推理或问题求解时规定要执行的操作。

知识的工程化是构造专家系统的关键所在，也是知识工程学科研究的核心问题之一。目前的知识工程技术，只是将知识的一小部分工程化了，而对人们在解决复杂问题常用的许多重要的知识都显得无能为力。知识工程化在目前具有两大特点：(1) 知识工程一点一滴地从知识源获取知识并把它综合到知识库中，因而知识工程是用基本单元来构造专家系统的；(2) 专家利用知识求解问题的方式直接影响知识工程师怎样获取、表示和综合知识。目前已较好地工程化了的知识类型有：定义和分类学知识，离散描述；简单的约束和不变量；演绎方法；简单归纳方法；很简单的实体模型；很简单的启发性搜索等。

知识对专家系统的性能影响极大。一个专家系统能显示出高水平的智能，其原因是它具有领域专门知识并能很好地运用这种知识。这里的智能是指在巨大的搜索空间中，系统能迅速找到合适解的能力。系统拥有的领域知识愈多，求解问题的能力就愈强。因此，目

前还需要认真地研究尚未工程化了的但又是极为重要的知识类型；如：类比知识；元知识；知识的编译等。

知识工程的另一基础是智能问题求解。在问题求解的意义下，所谓知识是指那些能改进问题求解器效率或效果的数据种类。有三大类知识满足这种定义：表示有效命题的事实，例如事实：“鹰是一种鸟”，表示似然命题的信念，例如：他大约16岁；表示一般不存在有效算法情形下最佳判断规则的启发式知识。

专家之所以称其为专家，就是因为他们所具有的上述几类知识不仅数量大而且质量高。大多数人类专家执行任务时都需要利用技巧性、判言性和有证据的判断。这些要求产生于可用数据和问题求解方法的复杂性、歧义性及不确定性。与传统的数据处理相比，大多数专家系统是处于不可能得出最优或正确解的环境下的。因此，问题求解器必须在所产生的答案质量和所作的努力之间权衡。专家找到的最好折衷方案通常是在合理的资源消耗的前提下找出一种能产生可接受答案的方式。

在这样的一种强调性能的条件下，智能问题求解器将必须改进问题求解的效率，特别是速度或选择性方面的改进能便利地产生可接受的解，从而使问题求解器能在允许的时间内找到更好的解或解决其他问题。

智能问题求解的基本思想可以表述如下：

- (1) 知识就是事实或是似然命题的信念或是启发性知识；
- (2) 搜索效率直接影响着问题求解的成功；
- (3) 问题求解的成功表示利用一切可用资源已找到一个“足够好”的解；
- (4) 改进搜索效率的措施有：
  - (a) 它具有可经常使用的知识，能避免错误，并且通过作出某些有益的区别来探索在各种不同环境之间的重要差别。
  - (b) 它能排除那些最终被证明是无用的求解路径。通过及时排除无用的可能解类，它能较早地删除“死路”。
  - (c) 它使用中间结果消除冗余计算。
  - (d) 它能加速计算，在专家系统的情形下，这意味着它提高了编译质量并利用了高速硬件。
  - (e) 它采用了对当前问题有益的各种知识体，特别是它能利用独立的专门知识体来减少歧义性，消除噪声源。它还能利用相关领域的知识库，并运用对给定问题最适用的技术和启发性知识来寻找问题的解。
  - (f) 它能用不同的方式分析问题，从高级、抽象的方式到低级、具体的方式。
- (5) 以下几个方面增加了问题求解任务的困难性：错误的数据或知识；动态变化的数据；需要评价的候选解数量很大，排除无用解的过程复杂。

## § 1.4 专家系统构造

为了建造专家系统，知识工程师要完成图1-2所示的四类功能，即提取、建模、汇编和求精。这些来源于稀有金属开采领域的术语对知识获取和专家系统构造所涉及的过程也是适用的。图1-2还给出了四个基本建造活动中所用的技术词汇以及每个阶段的主要产品。

| 知识处理任务 | 工 程 活 动 | 工 程 产 品   |
|--------|---------|-----------|
| 提 取    | 知识获取    | 概念和规则     |
| 建 模    | 专家系统设计  | 框架和知识表示   |
| 汇 编    | 知识程序设计  | 知识库和推理机   |
| 求 精    | 知识求精    | 已修改的概念和规则 |

图1-2 专家系统研制的主要任务

与稀有金属一样，知识隐藏在意识的表层之下，并且是不纯的。提取出来的知识元素在产生经济价值之前必须经过其它转换，提取包括从专家或书本那里抽出问题领域的基本概念，即用于描述问题环境和问题求解的启发性知识的术语。从这里开始，知识提取或获取过程一直要继续下去，直到抽出了足够的问题求解知识，使系统能达到专家性能为止。启发性规则构成了这项活动的主要产品。

专家系统设计产生专家系统的框架和结构。此外，专家系统设计者还选择一种适当的表示问题求解知识的模式。知识表示选择包括形式逻辑、语义网、分层框架、规则和过程等。其中每一种表示已经支持了至少一种以前的专家系统的开发工作。所选择的知识表示法应具备以下两个性质：(1) 具有表达专家知识的能力；(2) 能简单和方便地描述、修改和解释系统中的知识。一旦知识工程师选择了系统框架和知识表示，程序设计就开始了。然后，他把人类的技能转换成知识库，为推理机提供燃料。

今天，研制专家系统的人们一般采用某个现有知识工程工具，该工具包括了一个预定的推理机，因此，知识程序设计只需要产生一个知识库。在系统达到足够的性能之前，需要对知识库不断求精。在把专家行为的不精确理解转换成启发式规则时，专家和知识工程师可能都会犯错误，他们可能误解抽象概念，不正确地表达经验法则，以及忽略为保证知识库规则的有效性所需要的许多细节。一般说来，专家系统最初性能都较差。但这一性能一般都反映了知识工程师的技能，专家之所以能或好地完成任务是因为他们使用大量的知识，而不是因为他们思考过或表达过它们。事实上，知识工程为大部分知识密集的活动提供整理和检测知识的基本实用手段。在知识工程之前，专家一般不能以有效的方式表达自己的技能，他们亦不能凭经验估计这种技能到底有多少。专家系统直接测试知识效能，并突出其弱点和缺陷。通过修改这些缺点，专家能很快地改进知识库，这种渐进的研制过程，使专家系统开始先接近人类的性能，然后再超过之。

图1-3描绘了专家的理解向知识工程师的专家系统转换的过程，这是知识获取的关键方面。这种转换涉及双向交流。首先，知识工程师询问专家是怎样求解具体问题的，并思考重要的客体及关系（图中标出了理解“世界”和“任务”知识的部分），专家通过给予知识工程师的问题求解过程的描述揭示了这种知识。

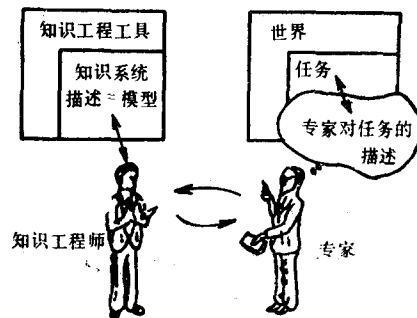


图1-3 知识获取：知识工程师与专家商谈、研制能求解特定任务问题的专家系统

为了弄清问题求解的基本方面,知识工程师倾听专家的描述。与为解决用户问题而构造算法的系统分析员不一样,知识工程师试图获得现有的问题求解方法。他选择某个知识工程工具,然后尽量使专门知识片段适合于该工具提供的结构。这要求他首先建立对专家在特定领域思考问题及解决问题的方法描述。这个描述将专家的专门知识模型化。这样,一旦此模型作为专家系统实现,便产生专家能够评价和改进的问题求解行为。该过程常常加深专家对自己知识的理解。

## § 1.5 知识工程工具

许多软件辅助工具简化了知识工程。事实上,大多数知识工程师都是通过先使用现有的工具再建立与问题相关的知识库来建造专家系统的。在过去二十年里,这些工具经历了由底向上,由低级语言向高级知识工程辅助工具这样一个不断发展的过程,只是到现在,人们才获得商品化的优质软件工具。那么什么是知识工程工具呢?知识工程工具是一种软件系统,但它又不只是一个软件系统;或换句话说,知识工程工具反映了一般知识工程观点和建造专家系统的专门方法论。

程序设计语言是构造专家系统的基本工具,LISP和PROLOG语言是众所周知的两种人工智能专用语言。除此以外,常见的知识工程工具有下列二类:

### 一、知识工程语言

根据不同的设计背景,知识工程语言又可以粗略地分为骨架型和通用型两种。

骨架型知识工程语言是一种优化了的专家系统骨架,它是从已有的专家系统中抽掉原有知识领域的知识,精炼出来的“空”专家系统。它经过实践检验和优化,故生成的系统效率较高,如要生成面向特定领域的专家系统,只需将领域知识填进去,就得到了一个新的专家系统。与用程序设计专家系统相比,这种方法省时、速度快,但却具有较少的灵活性,而且有领域的局限性。这是因为,原有专家系统的内部结构,受到其应用领域问题求解特征的影响,具有一定的领域针对性。骨架型知识工程语言的典型代表是EMYCIN系统。目前,借助于EMYCIN而生成的医疗专家系统有PUFF,CLOT,HEADMED。关于EMYCIN将在第六章介绍。

通用型知识工程语言并不是从具体的应用领域专家系统中抽取出来的,其结构并不是针对某一具体领域设计的,因此它具有比骨架型知识工程语言更大的灵活性。此类知识工程语言的典型到表有OPS5和HEARSAY-Ⅲ。利用OPS5已生成的专家系统有XCON,XSEL,IDT YES/MVS等。OPS5语言将在第六章中介绍,而HEARSAY-Ⅲ系统是一个基于知识的为专家系统的设计而开发的与具体领域无关的工具,将在第四章中介绍。

### 二、系统构造助手

系统构造辅助工具由一些程序模块组成,有些程序模块能帮助获得和表达领域专家的知识,有些程序模块能帮助设计正在构造的专家系统的结构。这些程序模块分别完成比较难的工作。与程序视计语言和知识工程语言相比,目前,系统构造助手或称之为系统构造辅助工具开发得较少。现在主要分成两类:知识获取辅助工具和系统设计辅助工具。AGE系统是典型的系统构造助手,它负责系统的设计,而TEIRESIAS系统则是提供知识获取辅助工具的样板。

TEIRESIAS系统能够帮助知识工程师把一个领域专家的知识转移到知识库。我们将在第四章介绍它。AGE系统的一大特点是通过组装已有模块和添加具有针对性的模块生成专家系统。AGE系统提供几种专家系统框架组件供专家系统设计者选用,它被认为是新类的专家系统工具,第六章将介绍它。

另外,知识工程工具中常常带有工具支撑环境的软件包,以便使用户接口更友好,使用户更方便且效率更高,这些支持软件包括调试辅助工具及知识库编辑器、I/O设施及解释设施等。我们将在第六章第五节中讨论。

## 习 题

1. 试简述传统的数据处理系统、人工智能与专家系统这三者的联系和区别。
2. 试说明传统的程序设计思想哪些可用来实现专家系统,哪些不能,为什么?
3. 请查阅有关文献,对十种类型的专家系统各举出3至4个具体的例子。
4. 简述专家系统构造的基本过程。
5. 请问骨架型知识工程语言是否是一种通用的问题求解系统,为什么?
6. 简述智能问题求解的基本思想,它与传统的问题求解有哪些显著的不同点?

## 参 考 文 献

- [1] F.Hayes—Roth, et al, Building Expert Systems, Addison—Weley, 1983.
- [2] E.A.Feigenbaum, the Art of Artificial Intelligence Themes and Case Studies of Knowledge Engineering, In Proc. of 5th IJCAI, 1977.
- [3] P.Harmon & D. King, Expert Systems: Artificial Intelligence in Business, John wiley & Sons Inc. 1985.
- [4] D.A.Waterman, A Guide to Expert Systems, Addison—Weley Publishing Co., 1985.
- [5] A.Barr & E.A.Feigenbaum, the Handbook of Artificial Intelligence, Vol I - III, Willian Kaufman Inc, 1981, 1982.

## 第二章 知识表示

现实世界是千变万化，错综复杂的，各种现象既有差别又有一定的联系。人类在认识世界的同时，通过大脑的智能化加工和创造性思维又在不断的改造世界，为了把人类这种智能行为在机器上再现，我们首先要解决如何把客观世界的某些事实（即所谓“知识”）用一套系统的方法加以描述。这种描述一般还应有利于用现有技术进行存储及利用。这里涉及到二个方面的内容。第一，如何把现有知识作符号化表示；第二，如何对所表示的知识获取到现有系统中去。本章着重介绍第一个问题的各种解决办法；简要介绍第二个问题的处理方法，稍后在第四章将详细介绍知识获取方面的内容。

随着知识工程的不断发展，人们逐渐认识到不精确知识在现实中的重要性。因此，对它的研究也日趋广泛。现有知识系统开发工具几乎都有支持不精确知识表示的手段。因此，我们在本章对这方面内容也作一介绍。

### § 2.1 知识的含义

有关知识的真正含义已经研究了好几百年，它所涉及的研究人员包括社会学家、语言学家、哲学家、和心理学家等，但谁也不能对知识作出确切的定义。知识工程中，不再一味地追求这种精确的定义，而把知识的定义更实用化、更具体化。大体上讲，客观事实就是知识。从另一个角度看，如果某种事实能够导致“有知识的”行为，我们就把这种事实也看作一种知识。例如，“下雨时最好带伞外出”这句话，会使人们联想到如果不带伞出去可能会被淋着，或者会受凉感冒等等。这种寓于“有知识”行为的事实就是一种知识。

在知识工程中，我们希望知识能够导致系统作出有知识的行为或指示。一般来讲，还要有三个前提。第一，这种知识必须能按某种严格的形式化方式递交给系统，以便让后者能够结合或联系其它各种知识进行逻辑推理、判断直至作出结论等；第二，这种知识必须具有可用性。有些问题，例如哥德巴赫猜想等，尽管所要求的知识可以精确地表示。但这类问题按目前人的智能限度还无法判定是否可解；第三，待解决问题应有合理的复杂性。属于NPC类的问题，表面上看可解，但实际计算成本都按问题大小的指数级增长，因此，对这类问题求解不切实际。

知识的形式化对知识工程来讲是个十分重要的概念。如果想把现实世界中各种知识均形式化，首先应该具备一种把知识从非形式化阶段向形式化阶段的转换机制，譬如讲计算机。这就得先把这种机制形式化，而这又会涉及到如何表示这种机制的起点问题，后者恰好是一个非形式化领域，这就造成了一种回归。尽管如此，在知识工程中，我们往往用一些变通的现实的方法来对知识下定义，这样定义的知识不仅可形式化地描述，而且能够着眼于改善系统的性能。一般这种知识只有在结合具体应用时才变得有效，而且知识的运用情况还取决于知识的表示方法。本书中我们区分下列四种知识：

(1) **事实**：这是指客观世界中的一些事实。例如，“雪是白的”、“鸟有翅膀”等等。

一般,除了应该对这种事实作描述外,还应对所涉及的事实作适当分类。否则,在运用这种知识作推理时有可能发生错误。例如,我们不应该把鸵鸟也归入鸟类,不然,就会推出“鸵鸟会飞”这种常识性错误。

(2) **事件**:我们把客观世界发生的行为和事件称为事件知识。例如,“张三给了李四一本书”,“明天将是晴天”等等。在表示这类知识时,我们不仅需要有一套编码方法,而且还应具有一种表示公式以便体现事件的时间顺序及因果关系。

(3) **技能**:我们把类似骑自行车、看书等这种既包含有对象知识又包含有事件的知识称为行为知识。这种知识体现了做某种事情的方法及技巧的运用。有很多认识行为,例如造句、定理证明等等,都包含有行为知识的成份。一般,我们很难区分技能知识和事件知识。事实上,对这个问题进行深究将会导致“究竟知识是什么”这个根本问题,而后者一直是哲学界为之困惑的。

(4) **元知识**:所谓元知识就是有关知识本身的知识。例如,对某个专题,我们常常知道有关这方面知识的发展程度及起源、有些信息的可靠性、客观世界一些专门知识的重要性等等。元知识还包括我们对自己的行为知识的了解程度:如自己的体力、弱点、思维产生混淆的程度,不同领域专业知识水平及解决问题的自我感觉等等。元知识的运用可使我们在推理过程中不必逐条地在大知识库中搜索某个项目就能得到有关课题的事实和规则。此外,我们还能具备何时和如何运用其他知识的能力。

除了上述四种知识外,是否还存在其它类型的知识呢?这个问题理论界还没有解答。

## § 2.2 知识的获取方法简介

在知识工程中,知识获取主要是指智能系统获得领域知识的方法。但是,直到目前为止,人们还无法构造出一个实用的、自身具备知识获取能力的系统。因此,在知识工程中知识获取往往以知识工程师作为主要行为者而把系统和领域专家作为行为对象。这是因为目前成功的一些系统都是按这种模式让系统获取知识的。

对人类获取知识的过程研究发现,学习是知识获取的重要途径。学习的结果导致知识的积累。人脑怎样把客观世界的现象有选择而又有组织地摄取至今还搞不清楚。一般认为,知识的获取包括把某种新的东西以某种心理上极其复杂的方法与我们已经知道的知识相联系。在开发知识系统时,知识工程师便选择一种类似的,但却更为形式化的方法从领域专家那里把知识归纳整理成系统可接受的形式放入系统中去。我们还须保证,新加入到系统中的知识在以后要用到它时,能够以现有系统的查询能力进行方便的检索;而且新知识的加入能够改善系统的智能行为。

由于领域专家在理解和解决某一问题时不仅借他已掌握的解题技巧,而且在很大程度上还依赖于他自己在以往实践中成功的经验或失败的教训,加之领域专家一般并不把已掌握的知识的表达看得太重要,因此知识获取会贯穿于知识系统开发的整个周期,有时甚至对已开发好的系统也还存在不断进行知识获取的工作。由此,我们可把知识获取工作划分为三个主要阶段:(1)明确系统的作用,确定领域知识的基本结构;(2)领域知识的抽取和实现;(3)调试和精炼知识库。这三个阶段的主要工作我们将在第四章详述。

知识工程师在知识获取过程中起着把知识源转移到系统中的中介作用。他从专家那里