

知 识 库 系 统

钟 宁 李 维 田 合 译

齐 红 校 阅

中国计算机用户协会河北省分会
科 海 培 训 中 心

译者前言

《知识库系统》一书是由日本科学技术厅组织编写，分别由日本的人工智能方面的一流专家学者执笔，于1985年12月出版的一本很有参考价值的新书。

该书共分八章及序论和附录。其中序论介绍了人工智能的研究历史，知识工程的状态和未来；第一至四章介绍了知识的表示，利用以及获取的方法，知识库和数据库的关系，开发支援环境等知识工程领域中最核心的问题；第五至八章则介绍了知识工程应用的几个主要方面，其中包括模式识别，语音识别，自然语言处理，专家系统，智能CAE等方面。

该书取材新颖，用尽可能少的篇幅，全面地，系统地，深入浅出的介绍了人工智能这个在计算机科学中最有前途的领域中，知识工程方面，从理论到实践的最新研究成果，以及历史，现状和发展趋势。

该书可作为大专院校的教学参考书或教学用书，也可作为研究人员，工程技术人员的一本有价值的参考入门书。

“知识工程”(Knowledge Engineering)这个词是于1977年由美国斯坦福(Stanford)大学的E.A. Feigenbaum教授提出的。它是从人工智能派生出来的一个研究领域。近年来发展很快，引人注目。

知识工程的研究促进了人工智能从单纯的理论研究走向实用化，并向计算机科学以及其它学科的许多研究领域渗透。比如，软件工程，数据库工程，计算机辅助设计，管理信息系统，决策支持系统，办公室自动化等等。所以，有时又把知识工程叫做应用人工智能，也就是说，人工智能的应用色彩是很浓的。这一点也正是知识工程的研究与早期人工智能研究的重要区别之一。

当前，在国际上，特别是美国、日本和西欧，对人工智能的研究与开发极为重视，特别是知识工程方面，在我国的研究、教学与开发也势在必行。但是，到目前，国内尚未出版过知识工程方面的任何书籍，从这个意义上讲，《知识库系统》出版，也将是很有价值和很有意义的。

该书是由北京工业大学钟宁和沈阳市电子研究所李维田同志翻译，由北院齐红同志校阅。在此书的翻译出版过程中还得到了艾谦，刘树钧，孙焕同志的热情帮助，以及中国计算机用户协会河北分会有关同志的大力帮助和示感谢！

由于时间仓促，加之译者水平有限，有错误及不妥之处，请读者批评。

译者

1986年12月

序 论

0.1 对人工智能的探求

知识库技术是从人工智能的研究派生出的一个分支,是近年来发展很快,引人注目的技术。所谓人工智能就是通过人类的智能或思考过程的分析,将其功能机械地实现。在形成人工智能和有关的信息处理技术以前,对人们思考问题方法的分析就已成为心理学以及其它人文科学领域的研究对象。当然,人们智能的作用是非常复杂的,分析它,并人工地实现并不是一件简单的事情。

但是,在人们头脑中存在的智能活动并不是一种超自然的作用,所以人类的思维方法迟早会被查明,最终也将能用信息处理技术机械地模拟实现。事实上,从到目前为止所做的各种研究已得到许多知识和经验,使得从前难以解决的问题,现在有许多已经得到了解决。不过,到目前为止我们所掌握和了解的知识或许只是人们日常表现的智能的一部分。这里之所以用“或许”这个词是表明目前我们对人类智力活动的整个机理还未完全搞清。

0.2 人工智能研究的经过

人工智能的研究已有很长的历史了,大约30年前就开始了这方面的研究,如前面所述,人工智能的研究就是要分析人类智能所具有的功能,并按一定的步骤将其机械地模拟实现。按这样系统的步骤进行工作,就可在一定程度上积累和掌握智能模拟的知识和经验。

最初,在人工智能领域的研究过程中曾考虑到人们在信息活动中所具有的智能,并着重研究了在当时的技术条件下可能实现的某些功能。目前,如何用计算机实现这些功能已成为研究的中心课题。在这个研究领域包括各种智力问题,例如象走迷宫和下棋这样的智力游戏,以及象文字识别、形状识别、语音识别、图象识别等广义的称为模式识别的问题,还有象机器翻译和自然语言理解等语言处理问题,以及数学公式和文章编辑等符号处理方面的问题,等等。

这些研究课题中的多数内容仍是当今重要的研究课题。但从方法论方面却已发生了很大的变化。早期人工智能研究的目的是将诸问题用过程的方法来处理,并为此开发出程序。但是,很快人们就认识到:作为智能的基础,知识是不可少的。并称“人工智能是知识的科学”。对于上述诸问题也一样,以“搜索”为主的,用过程实现的部分当然要有,但适当的使用人们通常惯用的各种规则化的信息和物理法则,以及过去积累的经验知识,对得到良好的结果也是必要的。

为了便于在计算机上有效地利用知识,需要一种与先给定解题的步骤然后执行解题,以得到问题的解答,这种以往的计算机解题方式所不同的新的信息处理技术。

最早有效地使用这种信息处理方式的是,DENDRAL 系统。该系统是由给定化合

物的分光光谱来推定其分子结构的系统。由于存在一类产生某种光谱的化合物，所以从给定的光谱分布只能推定出这种化合物的结构。但要从多个候选物中有效地缩小范围，发现所要找的化合物，就需要具有丰富经验的化学家的知识。

用这种经过组织整理的知识进行信息处理，最初是DENDRAL系统。以后，又用此方法开发出了许多系统。其中以医学领域为最多，在其它工程学科和教育领域中也有应用。这些系统将其本学科专家们的知识形式化后，存贮在计算机中，并利用它进行问题求解。由于人们希望计算机具有与专家同等程度的解决问题的能力，所以称其为专家系统。

这种系统的特征如图0—1所示，其中有用于存贮知识的知识库，以及用于求解问题的推理机构。知识库中存贮的是如上所述的经形式化后的专家们的知识。推理机构则是利用知识的具体算法部分。在图0—1中这两者被分离为两部分。以前，由于推理算法与知识库的内容有关，所以是某领域专用的系统。近来，由于整理归纳了知识表示的形式和通用的推理算法，使其成了通用的东西，这就导致产生了专家系统开发用的工具。目前，这种工具正在被开发。

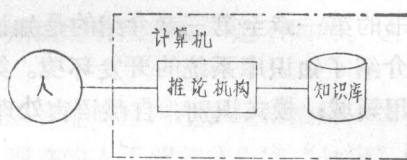


图0—1 知识工程系统

0.3 知识工程的现状和未来

专家系统的技术在70年代未定型后，这种利用知识的应用系统的有关技术就称为知识工程，并且迅速地得到了普及。目前，已进入实用化的时代。以美国为中心，利用这种技术的系统开发正向工业化的方向发展。

在另一方面，早期专家系统的技术还未达到完全成熟的地步，仍存在许多未解决的问题。这就是说，专家系统的研究结果没有按最初的预想达到可实用化的程度。目前，对此虽有多种意见，然而，对于知识工程来说，则刚刚进入称为“知识”的广阔领域，所以要想作出全面的判断，目前还为时过早。为此，必须寻找产生问题的原因，并要不断研究更好的开发技术。

然而，作为处理知识的技术，目前的许多专家系统都过于简单。知识既同语言有密切的联系，又同人类的智能活动有着密切的关系。人类的智能活动是多种多样的，而且关系很复杂。就拿知识以及表示这些知识的语言的表述能力和逻辑关系来看，若在各种智能活动中有一个与要求不符，则与该活动有关的全部智能活动将停滞。就是说，现在我们所用的知识与人类的智能有着很深的关系。

目前在专家系统中所谓知识的概念，只不过是涉及人类知识的最单纯的一个方面。

本来所谓计算机是不可能在与人完全不同的机构上实现人体自身的所有功能的。从这一点来说，我们对人类的智能知道的很少。尽管如此，在某个范围内可以解释清楚的事情却是很多的，到目前为止知识工程的研究往往忽视了许多必须经过踏踏实实努力才能完成的事情，而一味地朝实用化的方向努力。这样不从本质上努力进行研究，

知识信息处理本身就可能陷入泥潭。

在新技术的发展过程中，这种方法从某种意义上讲是必然的。因为对于多数人来说显示新技术的存在是要让他们能亲眼看到。以此作为技术发展基础的例子有很多。但是，为了技术的进一步发展，在一定时期也必然要从方法论上作相应的变革。

现在知识工程的发展是否也到了这种时期了呢？若是的话，我们就应面向下个时代探求新的研究方法。

以上只是一种看法，或许还有与此全然不同的意见。然而，这些讨论的结论是否正确目前恐怕只有上帝知道，所以寻根问底是毫无意义的。为了能更好地进行研究，我们应确切地了解目前的技术现状，并对此进行评价以寻求更好地策略。本书的目的也正是试图将知识信息处理的现状，在有限的篇幅内加以说明，且尽可能全面地预见未来的发展。

本书的第一章至第三章介绍的是知识库的基本概念和构造知识库系统的基本技术。第四章介绍了知识库系统的开发环境。第五章以后介绍了对于知识库的应用寄予很大希望的应用领域：模式识别、自然语言处理，专家系统、CAE中知识库的利用方法等。

知识库系统

目 录

序 论

0.1 对人工智能的探求	(1)
0.2 人工智能研究的经过	(1)
0.3 知识工程的现状和未来	(2)

第一章 知识的表示和利用

1.1 知识库系统的考虑方法	(1)
1.2 知识表示和推理的要素	(3)
1.3 产生式系统	(5)
1.3.1 构成和历史	(5)
1.3.2 正向推理和逆向推理	(8)
1.3.3 应用方法和特征	(9)
1.4 黑板模型	(9)
1.5 语义网	(10)
1.6 框架系统	(14)
1.6.1 关于框架	(14)
1.6.2 根据框架进行知识的表示和推理	(15)
1.7 一阶谓词逻辑	(17)
1.7.1 根据合式逻辑式和子句形式进行知识表示	(17)
1.7.2 根据归结原理进行推理	(19)
1.7.3 知识表示系统的特征	(20)
1.8 目标系统	(21)
1.9 不确定知识的表示和利用	(22)
1.9.1 模糊性	(22)
1.9.2 关于不确定知识的处理方法	(23)
1.10 结论	(24)

第二章 知识的获取

2.1 知识库系统的三个方面	(27)
2.2 知识的获取	(27)
2.3 知识获取的背景	(27)
2.4 知识的结构化—知识表示	(28)
2.5 知识的完成度	(29)
2.6 对知识表示的要求	(30)

2.7 知识获取方法的若干阶段.....	(30)
第三章 知识库和数据库.....	(34)
3.1 记忆功能的利用~与过程的独立.....	(34)
3.2 数据库系统.....	(34)
3.3 对新数据库的要求.....	(36)
3.4 数据库技术研究的新动向.....	(36)
3.4.1 抽象数据类型概念的引入.....	(36)
3.4.2 演绎数据库.....	(37)
第四章 开发支援环境.....	(39)
4.1 关于开发支援环境.....	(39)
4.2 面向人工智能的语言.....	(40)
4.2.1 LISP.....	(40)
4.2.2 SMALLTALK.....	(42)
4.2.3 PROLOG.....	(43)
4.3 知识表示语言.....	(44)
4.4 智能工作站.....	(46)
4.5 研究者用的网络.....	(48)
第五章 模式识别.....	(51)
5.1 模式识别和知识库系统.....	(51)
5.2 图象识别的知识.....	(51)
5.3 利用与对象有关的知识.....	(52)
5.3.1 多面体模型.....	(52)
5.3.2 二维模型.....	(53)
5.3.3 框架的利用.....	(54)
5.3.4 三维模型.....	(55)
5.4 图象识别的控制.....	(55)
5.5 图象数据库.....	(56)
5.6 语言识别和知识库系统.....	(57)
5.7 语言识别系统.....	(57)
5.7.1 黑板模型.....	(58)
5.7.2 网络模型.....	(59)
第六章 自然语言处理.....	(61)
6.1 自然语言处理系统的框架.....	(61)
6.2 自然语言处理和知识.....	(62)
6.3 自然语言处理的技术.....	(64)
6.3.1 关于形态素的知识.....	(65)
6.3.2 句法上的知识.....	(67)

6.3.3 语义表达形式.....	(71)
6.3.4 与现实世界有关的知识.....	(73)
6.4 自然语言处理的应用领域.....	(74)
第七章 专家系统	(79)
7.1 关于专家系统.....	(79)
7.2 专家系统的历史.....	(80)
7.3 专家系统的结构.....	(83)
7.4 专门知识及其表示.....	(85)
7.5 事例.....	(87)
7.5.1 XCON.....	(87)
7.5.2 ONCOCIN.....	(88)
7.5.3 MOLGEN.....	(88)
7.6 专家系统的应用.....	(89)
7.6.1 通过问题的类型来考察其应用.....	(89)
7.6.2 通过问题的性质来考察其应用.....	(90)
7.6.3 通过应用领域来考察其应用.....	(91)
第八章 智能CAE	(94)
8.1 技术开发方法的改善.....	(94)
8.2 知识处理技术的利用.....	(95)
8.3 设计问题的特征.....	(96)
8.4 知识工程的界限及应用类型	(97)
8.5 智能CAD所采用的方法	(98)
8.6 表示的形式化和知识的利用	(99)
附录	(102)
1. 参考文献	(102)
2. 名词解释	(106)

第一章 知识的表示和利用

1.1 知识库系统的考虑方法

知识工程, 以及基于此概念的知识库系统与系统设计和程序设计有关, 同时它还特别强调“知识”这个问题。即采用了叫做知识依存型的系统设计方法。但这并不是说到目前为止的系统中的程序没有使用“知识”, 而应说, 已经设计出了以各种领域的知识为基础的各式各样的系统。但是在以前的程序中, 知识和利用知识的机构混为一体, 在问题求解处理中的哪个部分, 需要什么知识, 又应怎样利用这些知识, 并不明确。

针对这些问题, 在知识型系统或知识库系统中, 要将知识和利用知识的推理机构明确加以区分。也就是说“知识的表示方法”和“知识的利用方法”是不同的。这一点很重要, 目的是为了各种智能容易得以实现。

知识工程有时又叫做应用人工智能, 所以人工智能的应用色彩是很浓的。若要确切地同早期的人工智能相比较, 从某种意义上讲, 现在的人工智能是面向“知识”的。也就是说, 目前在许多人看来, 人工智能系统同知识型系统大体上含义是一样的。在此, 我们来讨论在人工智能的研究中, 知识工程是怎样产生的, 以及其产生的意义。为了易于理解, 我们将早期的人工智能同知识工程以对比的方式进行讨论。

知识工程是以人工智能的研究为基础的, 从人工智能的研究向知识工程演变的过程中, 对所谓“知识”考虑的方法发生了相当大的变化。早期的人工智能研究, 主要是针对单纯化的假想的问题空间和游戏等, 研究对象是所谓“封闭世界”的问题, 这样对结果的评价是容易的。不考虑由于组合数的无限增加而导致搜索量的无限增加, 而单纯寻求高效率的搜索求解方法, 并以此作为智能的基础。以这种搜索方法为中心的研究课题已开展很多。这方面, 人们已研究出了各种启发式搜索方法。这类方法一般能适应解决许多方面的问题。它们是以推理为中心的方法。继这类方法之后, 又出现了新的方法。与前者不同, 是以知识为中心的方法。

“知识工程”(knowledge Engineering)这个术语是1977年由美国斯坦福(Stanford)大学的E. A. Feigenbaum教授提出的。70年代引人注目的知识工程的研究是针对从前采用的复杂的信息处理方法, 以前的方法很难系统化地解决现实问题。为此, 希望寻求一种更有利于系统开发的新方法。当时的研究对象不是目前人工智能所研究的象游戏这样的一般化的问题。而是针对特定的领域。例如, 血液感染症的医学诊断, 按用户要求合理选择计算机的构成等等。人们认识到, 既使对于特定领域的问题, 要想与这个领域的专家发挥同等的能力, 也必须收集大量的专门知识。

人们对异常发生的事情能随机应变, 很好地解决, 这与大量的背景知识密切相关。人们认识到, 通用的高效率的搜索方法固然重要, 但是为了具有更强的解决问题的能力。“知识”是更重要的方面。前面所说的启发式搜索法是用与目标(即解)的距离等评价函数来控制搜索路径的。但在现实问题中的很多情况下是根本无法设定这种评价函数的。在此时, 尽可能多地收集, “在某种情况下应怎样做”等指示性知识是现实的, 并

且这已成为有效的考虑问题的方法。即有效的搜索也是由知识来指导实现的。

这样，“知识”的质和量就成为决定系统能力的基础。所以对于大量知识的处理方法，（即如象将其系统化并灵活运用）则成为知识工程研究的中心课题。（参看图1—1）。

知识工程主要的研究课题可稍加整理归纳如下：

△知识的表示方法

即怎样表述知识。

△知识的利用方法—推理方法

即应怎样组织和利用知识，以达到所希望的目标。

△知识的获取及管理方法

即在系统生长时，可自动或半自动的获取知识，并可从知识库中排除矛盾的成分，进行确保一致性的管理。

△用户接口

即在利用或获取，管理方面，应怎样实现易于用户使用的接口。应含有图形和自然语言处理的功能。

以上课题的研究不应截然分开。特别是“知识的表示方法”它在别的研究课题中也是有决定意义的中心课题。

知识的表示方法，大体上可分过程化表示法和说明表示法两大类。过程化表示法就是根据要解决的特定问题，指出一系列操作过程的表示方法。例如，“以六本木去成田机场时，要先乘地下铁日比谷线到人形町，然后步行到日航东京市内服务站，购买去机场的汽车票，……”这样的表示法，就是过程化表示法。与此相反，说明表示法将事实和判断规则一个个说明的表示方法。例如，“年令42岁”“血糖值异常高，”“若40岁左右并且血糖值异常高的话，就可能是糖尿病”等，就是说明表示法。

以前用COBOL和FORTRAN进行程序设计就是典型的过程化表示法。用过程化表示法时，虽然有类似的过程，但由于细节部分的不同，所以对每个问题都必须分别写程序。而说明表示法由于可以选择使用与某种情况相对应的必要信息（知识），所以若具有足够的知识，就可用于解决各种各样的问题。实际上，由于根据说明的表示进行知识的选择（搜索），即选择适用的部分是具有一般性的，所以也是用过程来表述的。

过程化表示是针对特定的问题，根据具体的处理步骤，用一系列过程来表示的，所以执行效率非常高。但适应性较差。与此相反，说明表示法则主要是重复查找适用的知识，所以知识量越多则处理效率就越低。但适应性却很好。对于我们人脑中的知识是如何表示的，目前还说不太清楚，但也可看成为是以说明表示法为中心的。在知识库系统中，说明表示法也是一个重要的特征。根据说明表示法来管理知识的机构就是知识库。在这当中为利用知识进行问题求解的控制机构称为推理方法。当然，推理方法是用过程化方式表示的程序。

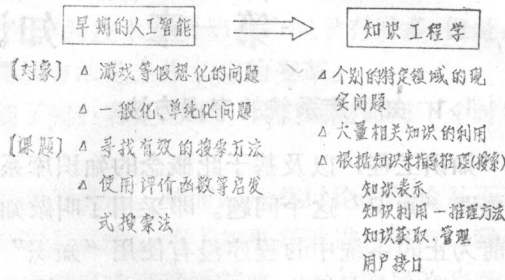


图1—1 早期人工智能研究到知识工程的发展

说明表示法具有这样的特征，即由于可用知识表示相互独立的事物，所以追加，修正容易的，并且可用于各种各样的目的，即具有较好的通用性和适应性。

说明知识表示法有代表性的是一阶谓词逻辑和产生式系统。框架则作为模块是较大的概念单位，下面则是有层次的说明型知识结构，还采用了具有较高处理效率的过程化表示法，使这两者结合成为一种知识表示的形式。目标型系统也具有这种性质、关于这个问题本书后面还要进行讨论。

在知识型系统中存有许多这种基本的说明知识模块，这些模块可由推理方法组合使用。这就是为问题求解采取的试探方法。知识由推理方法动态的综合使用，在外部看似产生了许多知识以便，根据不同的情况采用不同的解决策略，这样就可发挥出智能的作用了。复杂的不正确的 (ill-defined) 问题 (比如书写说明书和画流程图时，不能明确表达或很难表达的问题) 在很多情况下是不能规定处理流程的。这时，如能将知识与使用该知识的推理方法分离开则有很大优越性。然后再逐次追加和修正具有模块性的知识，使系统逐步地有头绪的进行扩大。这对于构造大规模的系统是很重要的。由于利用了说明型的知识，从而开辟了自动或半自动获取知识的道路。

在图 1—2 中比较了过程中心型的程序和知识型程序的结构。由于知识型的推理方法大部分是可通用的，所以若预先已做好，就可避免为不同的问题重复制作了。这样，程序就变成了对结果和知识的记述 (通过说明方式)。在知识型系统中，若把对话型的用户接口也事先作好的话，则知识的表述就不只是单个程序了，而是能实现具有各种必要功能的系统。

图 1—3 示出了知识型系统的结构。它是由存贮基本知识的知识库和推理方法组成。再加上知识库编辑程序和对话功能等用户接口，知识型系统就是以知识库为中心的

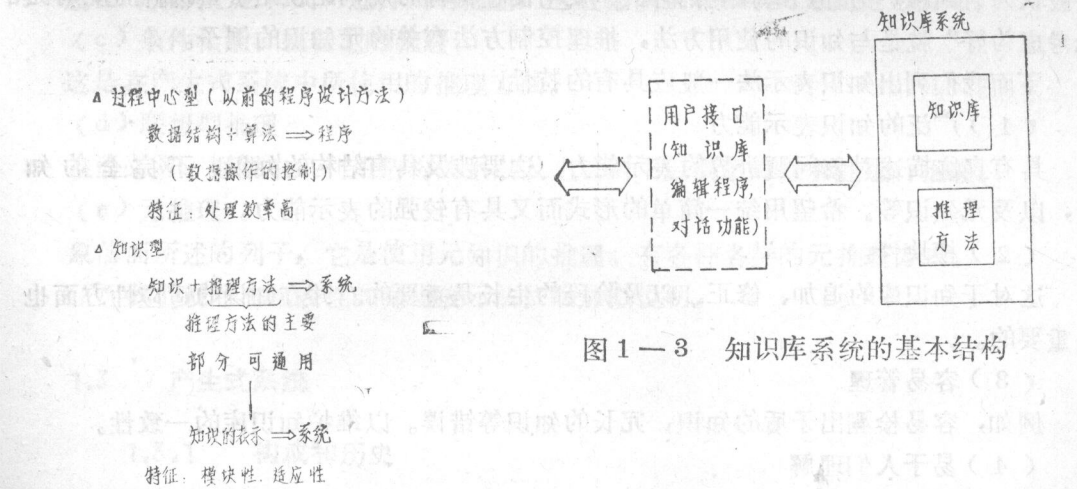


图 1—3 知识库系统的基本结构

图 1—2 过程中心型和知识型程序的比较

1.2 知识表示和推理的要素

人类具有的知识形态是各种各样的，人脑的结构到底是什么样子，我们并不十分清

楚。但是为了使计算机能利用知识、就必须对知识进行形式化的表述。这就是知识表示法的问题。它同知识的推理、获取以及管理方法密切相关。这些都是知识型系统构成的核心问题。

关于所要表示的知识内容有多少种类，各个领域正在研究。本书中仅讨论了模式识别和自然语言理解两个方面。但就表示在各领域通用的一般性知识内容的种类而言，经归纳目前可为：

(1) 事实

即“……是……”这种类型的知识。

(2) 有关对事实进行操作的方法的规则

相当于后面所述的产生式系统的规则和框架的添加过程。

(3) 元知识

即有关知识性质的知识，以及知识使用方法的知识。

再加上若干注释。知识间相互是有关系的，所谓具有上层、下层概念的层次关系（在语义网和框架中），这在实现紧凑的知识表示形式时是很重要的。在专家系统等方面，通过规则的使用，可增添确切的教科书式的知识，同时也可获取专家们多少带有几分不确切因素的所谓“好法子”的经验知识。具有这种解决问题的能力确实是很好的。由于人们解决问题的能力大部分是靠经验，但在许多情况下，这种经验知识在系统中却没有，所以要注意预测系统工作变坏的情况。

若把与问题求解直接有关的事实和规则作为对象级的知识，则元知识就是与对象级的知识的性质和使用方法有关的知识。比如，我们已知“在A公司中上司的工资比部下的工资高”这样的与工资有关的元知识，则一旦输入某人的工资比他的上司还要多，就会被认为有问题。另外，选择规则时，“使用便宜材料的规则比使用贵重材料的规则优先考虑为好”就是与知识的使用方法，推理控制方法有关的元知识的例子。

下面我们列出知识表示法一般应具有的特性：

(1) 广泛的知识表示能力

具有直接描述对象问题世界的表示能力、这要涉及具有结构的知识，不完全的知识，以及元知识等。希望用统一简单的形式而又具有较强的表示能力。

(2) 模块性

这对于知识库的追加、修正、以及阶段的生长是重要的。并在知识的适应性方面也是重要的。

(3) 容易管理

例如，容易检测出矛盾的知识，冗长的知识等错误。以维护知识库的一致性。

(4) 易于人们理解

这对于知识的输入，错误的检测是重要的。另外，对于说明功能的实现也是重要的。

(5) 与高效率的推理方法的配合

应能与快速求解的推理功能巧妙的结合起来，例如，应具有联想功能等。

也可能会有与上述不同的要求。从下节开始，我们将讨论至今为止已开发出的有代

表性的知识表示法。并从不同方面来介绍。

推理方法在很多方面依赖于知识表示，所以不可能单独进行讨论。下面我们仅列出推理方法所应具有的和与知识表示有关的特性：

(1) 效率

对知识处理不加限定、也可较快地得到解。

(2) 控制性

可控制推理的方式。虽然采用过程化方式能提高效率，但应尽可能避免过程化的记述，因为这种方式不易改变。

(3) 较好的观测性

推理的思想应易于人们理解，这在调试时更为重要。

(4) 在不确定、不完全的知识环境下也可工作。

这是最近才开始研究的课题。

(5) 与并行计算机的通融性

这是为与今后可能会开发出的用VLSI的新的计算机体系结构相结合，以得到好的性能所需要的。

下面我们列出已开发出的典型的推理法：

(a) 过程化推理

象从前程序设计那样，遵循对数据作的一系列指示，部分地采用框架和目标。

(b) 形式推理

根据(谓词)逻辑进行推理。推理的完全性等依赖于严密的逻辑学。目前是以对知识(逻辑式的公理系)询问的解答为中心、进行演绎推理的。根据有关的事实，对导入的一般化的知识(逻辑式)进行归纳推理，这在知识获取和学习方面是必要的。

(c) 条件检索、执行型的推理

这是在产生式系统中所使用的推理方法。

(d) 联想型推理

在语义网、框架中，利用结构关系以及上层到下层概念的继承性进行推理。

(e) 元推理

象前面所述的例子，它是使用元知识的推理。有各种各样的元推理方式。

下面我们就对有代表性的知识表示法依次加以说明。

1.3 产生式系统

1.3.1 构成和历史

产生式系统是根据规则来进行知识表示的。规则基本上是以

IF

THEN

的形式来记述。其中、IF部为前提部分，THEN部分结论部分(或称为动作部分)。

由图1—4所示的产生式系统基本上是由以下三部分组成：

- ① 规则库
- ② 解释器（推理方法）
- ③ 综合数据库（工作存储器）

其中，规则库是以规则的形式存贮记述知识的知识库。综合数据库（即工作存储器）是保持产生式系统状态的记忆部分。规则的基本工作方式是若综合数据库的内容满足规则前提部分的条件，就执行结论部分的动作。这时要重写综合数据库的内容。解释器（推理方法）的动作象后面所述的，大体可分为向前推理和向后推理两大类。用以进行规则的选择，产生适用的，有目的的调用，或作验证性的推理。

产生式系统起源于Post机的试验成功（在1943年由E.L.Post提出）。这是在众所周知的成为现代计算机原理基础的图灵机上来记述控制。此后针对计算处理的不断发展，Post机就可在某种条件具备时，根据被起动规则（重写规则）的集合进行记述处理。这两种模型机从某种记号列可变换成为别种记号列的意义上讲是等价的。即都是针对做某种变换的一种模型机。同样的变换在别种模型机上也可实现这一点已得到了证明。而且，产生式系统的计算能力和其它过程化的通用程序设计语言是等价的。但在计算方式的风格上却有很大的差别，在应用时，这个差别很重要。

在早期的人工智能研究中获得很大成果的学者A. Newell和H. A. Simon，提出了以人类心理学模型为基础的产生式系统。在六十年代初期，有了几个针对国际象棋等问题求解的实验心理学的成果。根据心理学模型来试作产生式系统，考虑到综合数据库（工作存储器）可临时记忆，因而构成的模型不必考虑由于存贮器数量的限制而溢出的问题。这样，规则开始从半永久的记忆变成了永久记忆。

此后，以分析有机化合物结构式的DENDRAL系统，医疗领域的咨询系统MYCIN为先导，许多专家系统都先后投入了使用。

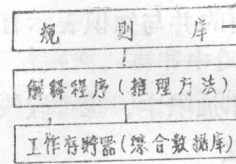
为了具体的说明综合数据库和规则的记述法，我们来看一些具体的例子。图1—5所示的是由美国卡内基—梅隆大学（Carnegie—Mellon）开发的，并由DEC公司将其商品化的OPS5；图1—6所示为EMYCIN的前身，现已成为许多通用产生式系统基础的MYCIN的记述法的例子。由于都是用LISP实现的，所以这里用Lisp来表示。（OPS5在DEC公司商品化时是用BLISS语言改写的）。

数据库

```
(City ^name Lafayette
      ^state Indiana)
```

规则

```
(P make—possible—trip
```



△ 模态规则（IF... THEN...）进行知识表示。

△ 知识的模块性

（知识有同样的类型）

（通过工作存储器作为媒介进行相互作用）

△ 可成长性

图1—4 产生式系统的构成和特征

```

(City^name< X>^State Indiana)
— (Weather-forecast^place< X>
^date tommorrow^weather snow)
----->
(make possible-trip^place< X> ^date tomorrow))

```

翻译:

IF Indiana 洲有 X 市, 若对 X 市明日的天气预报有雪的话
 THEN 对表示明日可去 X 市旅行的工作存储器元素进行追加。

图 1—5 OPS5 的数据库和规则表记法一例

数据库

```

(IDENTITY ORGANISM-1 E. COLI 0.8)
(SITE CULTURE-2 THROAT 1.0)

```

规则

RULE050

```

PREMISE: (AND) (SAME CNTXT INFECT
PRIMARY-BACTEREMIA)
(MEMBF CNTXT SITE STERITLESITES)
(SAME CNTXT PORTAL GI)
ACTION: (CONCLUDE CNTXT IDENT)
BACTEROIDES TALLY.7)

```

翻译:

IF ① 感染类型为初期菌血症, 同时

② 培养基取得部位, 通常认为是无菌部位 同时

③ 若问题出于细菌的侵入, 感染路径为消化器官

THEN 该症状可能是由类杆菌——bacteroides 引起的 (确切度为 0.7)

图 1—6 MYCIN 的数据库和规则的论述法一例

综合数据库在很多系统中都是由三个部分组成, 在如图 1—5 所示的 OPS5 中就是由工作存储器元素名, 属性, 值这三部分组成。其中属性名是用 ^ 号来标识以便区别, (属性、值对在一个工作存储器元素中可写多个。在如图 1—6 所示的 MYCIN 的情况下, 综合数据库是由 (属性、上下文名、值、CF) 构成的, 而其中的 CF 为确定度因子 (certainty factor)。

图 1—5 所示的 OP5 规则的开头 P 表示产生式规则的开始。接着的 make—Possible—trip 是规则名。——> 号左边为前提, 右边为动作。条件也可为负, 这是在条件元素前边加一个 “—” 号来表示的, 其含义是在数据库中不存在则满足。规则中可使用变量, 变量 X 是用 < X > 来表示的。变量可与任何值相匹配 (但同一变量在规则内仅与同一值匹配)。含有变量, 可提高规则的记述能力。在动作部分中开头的 make 是指示动作的函数, 其动作为追加新的工作存储器元素。剩下的部分可用来准备好最多为 10 个要

追加的元素。

图1—6所示的MYCIN的前提部分是用(谓词函数, 上下文名, 属性、值)的AND以及OR关系来组合多个条件节的。RULE 050表示CNTXT是一种变量, 当规则适用时, 就考虑上下文的具体值。MYCIN诊断在很大程度上都是由上下文树(Co—ntexttree)构成的通过使用CNTXT变量的RULE050来推论培养检体—1时, 也可用来推论培养检体—2, 培养检体—3。SAME则为工作存贮器内容的条件子句MEMBF是memberof语义的谓词函数。除此之外, 还可准备20个谓词函数。结论部分的TALLY. 7表示在条件完全满足时, 结论正确性的CF值(确定数)为0.7。

1.3.2 正向推理和逆向推理

产生式系统最基本的工作方式是正向推理。从综合数据库初始状态所适用的规则开始, 探求达到目标状态的道路为正向推理, 也可称其为是数据驱动型推理, 或称为是自底向上的推理。与此相反, 若从目标状态出发, 选择所需要的规则, 作成假设或子目标, 这样重复操作看最终的假设是否满足现存的综合数据库的状态, 这就是逆向推理, 也可称其为是面向目的的推理, 或称为是自顶向下的推理, OPS5采用的是正向推理的方法, MYCIN采用的是逆向推理法。

图1—7示出了正向推理的基本动作。即:

试探: 规则的前提部分与综合数据库进行匹配。

竞争的解除: 从已匹配的规则集合中(竞争集合), 根据已确定的策略来选择一个规则。

动作: 执行所选择规则的动作部分。

以上这三部分可周期性地重复工作。若执行了某种规则, 并更新了综合数据库的内容, 就要继续对新的竞争集合进行处理。

试探时, 规则数越多, 就越花费时间, 执行速度就要下降。在OPS5中并不是对全部的规则进行试探, 而是按如下方式进行试探即只试探在前个执行周期中与综合数据库所变更的部分有关的规则(即RETE算法), 这样就可减轻负荷, 使速度大幅度提高。

一种简单的解除竞争的策略是选择最先符合的规则。OPS5中所用的策略是根据以下几条假定:

△规则和在工作存贮器的同一匹配不执行二次(也有防止同一处理永久重复的手段)。

△首先选择含有最近作成的工作存贮器元素进行匹配, 这就是深度优先搜索。

△优先选择前提部条件多的规则。

一般正向推理若目标不能实现时, 就可进行回溯。但OPS5不产生回溯。若执行含有停止命令的规则(或没有可适用的规则)时, 就终止系统的动作。

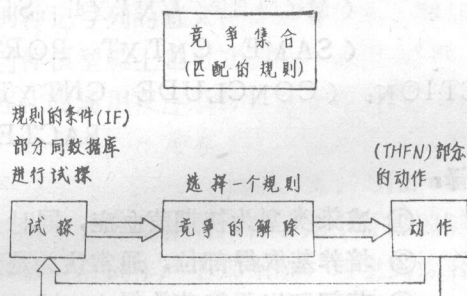


图1—7 产生式系统的执行周期
(向前推理)

在逆向推理中, 搜索结论部分的目标或假设所具有的规则, 不断地用假设对其前提部分条件进行推理。边走边找假设的先决条件, 若数据库中存在, 则认为假设是正确的; 若不存在则回溯, 然后对别的假设或调用进行推理。这和PROLOG的动作类似。

正向推理的动作就如同产生式系统的名字那样称为“生成的”而逆向推理的动作则称为“验证的”。这两者的不同点是根据问题的性质不同, 为提高性能和使用方便而采用不同的表现方式。如果预想解的数量比较少时, 一般用逆向推理的方法可较快的得到解, 然而若预想解的数量较多时, 由于逆向推理要依次验证解, 所以要花费较多的时间。比如, 象MYCIN系统在含有不确定的事实和规则的情况下, 用逆向推理的方法就不太高明。而在正向推理时, 要把后面可能变更的某种状态移到前面也是不好的。

还有一种双向推理的方法, 这是正向推理时形成假设, 在逆向推理中进行验证的一种混合型的方法。另外还有一种从目标状态和现有状态同时进行搜索, 在中间状态下进行试探的双向推理法。

1.3.3 应用方法和特征

在产生式系统中要将已观测到的事实和必要的事例输入到综合数据库中, 以便由推理方法根据规则找出答案。在使用对话型咨询系统时, 参照综合数据库的求解规则, 在所需元素还有未输入值的情况下, 可通过对话进行提问。在正向推理中对规则的前提部分进行求解的时候, 也就是在逆向推理中规则的前提部分的元素不能由其它规则的推理得到, 而要从外部的输入得到的时候。询问的内容预先作为综合数据库的元素准备好是一种简单易用的方法, 但也有根据规则自动生成英文或日文的系统。在对话过程中由用户使用如HOW和WHY这样的命令, 以提示应怎样回答这个问题, 为什么会出现这个问题, 因为是根据规则生成的对话, 所以实现起来比较自然。

在联机方式下要附加从外部向综合数据库输入的机能, 以及检测综合数据库的状态并向外部应答的机能。这样就能实现对外部的输入应答自如的系统。这时推理一般采用正向推理法。

产生式系统的特征可归纳为如下几点:

优点:

△知识的模块性较好

△可读性好(规则的意思容易理解)

△结构简单

缺点:

△由于试探错误多, 所以推理效率低

△知识间的关系, 以及相互作用不好进行表述。

为了防止规则数量增加时, 推理的速度下降, 就要将规则分组, 即根据情况只用某一组规则。当知识间的关系, 以及相互作用变得重要时, 就要用框架表示法。

1.4 黑板模型

黑板模型是在美国卡内基·梅隆(Carnegie—Mellon)大学的音声理解系统HEARSAY—II中开发的知识表示, 推理方法。若与产生式系统比较的话, 它就是将