



北京科海培训中心系列教材

# 专家系统与知识工程引论

张吉锋 承安 贾洁之

清华大学出版社

# 专家系统与知识工程引论

张吉锋 承 安 贾洁之

清华大学出版社

一九八八年十月

## 内 容 简 介

人工智能专家系统是一门新兴的实用学科，其技术随着计算科学技术的发展而不断地趋于成熟和完善，应用范围正在不断扩大。本书较系统的介绍专家系统与知识工程的概念、专家系统的形成与发展、问题求解模型的建立、获取知识与规范化的方法、选择合适的开发工具等。在每一部分都针对实际情况介绍有关实例，使读者有更深一步的了解。本书易于自学，在读完本书之后，读者能对这一领域有一个大致的了解，并能动手考虑建立一两个实际的专家系统，而实际系统的完成，还需要进一步的知识和实践经验积累。

本书可作为高等院校计算机科学与技术、自动控制等专业大学本科高年级选修课的主要参考书，也可供有关科学技术人员和工程师参考。

## 专家系统与知识工程引论

张吉锋 承 安 贾洁之

☆

清华大学出版社出版

北京 清华园

黎明裕安晨光印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

☆

开本 787×10921/16 印张：6.87 字数：166千字

1988年10月第1版 1988年10月第1次印刷

印数：3000

ISBN-7-302-0000434-X 定价：.50

TP.145

# 前 言

人工智能，作为计算机科学的一个分支，发展至今已有一百三十年的历史。在这三十年里，人工智能的理论得到了极大的充实和发展，人工智能的技术也不断地趋于成熟和完善，其应用面也越来越广。在这些应用当中，专家系统作为人工智能的一个实用科学分支受到了普遍的重视。专家系统能够表示并应用某些真实知识去解决问题，其应用范围正在不断扩大，已经产生的系统能够诊断疾病，设计计算机，勘探矿藏等，其性能等同甚至超过了人类专家。早期的系统还只能在大计算机上运行，进入八十年代以后，各种专家系统工具纷纷涌现，其中有许多工具不仅能在小型机，也能在微机(如 IBM-PC)上运行，使专家系统的应用进入了第一个高潮。除了使用现有的专家系统之外，更多的人把注意力放到了如何利用工具开发自己的专家系统上。因此，人们需要了解如何建立问题模型，获取知识并加以规范化，选择合适的开发工具等一系列在开发专家系统方面所遇到的问题，知识工程的概念就这样出现了。有了知识工程，专家系统的开发过程也变得有章可循了。这一切只不过是问题的一方面。

另一方面，近年来，人们对人工智能的兴趣与日俱增，各行各业的人们都在从这个年轻的领域内发现某些新思想和寻找各种新方法，以充实自己的研究思想和手段。在这方面，专家系统的思想为人们提供了问题求解的模型，并且总结了一整套有关知识表达和演译归纳的推理方法。这些思想对于人们用计算机求解疑难问题无疑是有裨益的。所以，专家系统、知识工程不只是为了人们提供了一种方法，而且还为人们带来了解决问题的新思想。

在国外专家系统还处于方兴未艾的发展时期，大到宏观经济的规划，小到检修汽车，都可以看到各种专家系统的影子。近年来，各先进国家对专家系统的研究也在不断加强，一个专家系统的研究开发热潮正在形成。

与此同时，国内也有不少学者翻译或编写一些专家系统方面的著作，大多是适于作为大学生、研究生的教科书。本书的目的是想为那些对专家系统的思想和方法有兴趣的专业人员，提供一本既能全面介绍专家系统概念，又易于自学的读物，使读者在读完本书之后，能对这一领域有一个大致的了解，并能动手考虑开发一两个实际的小型专家系统，而实际系统的完成，可能还需要进一步的知识和实践经验。

人工智能专家系统是一个新兴的学科，国外还处于刚刚起步阶段，加上我们的知识有限，所搜集到的资料又不够充分，编写的经验也不足，疏漏不当之处在所难免，敬请专家和读者批评指正，预致谢忱。

华东师范大学计算机系吴洪来副教授审阅了全部书稿，并提出了若干修改意见。另外还得到上海交大，上海工大有关同志帮助。在此表示感谢。

# 目 录

<b>第一章 引言</b> .....	( 1 )
第一节 什么是专家系统.....	( 1 )
第二节 专家系统发展的历史回顾.....	( 2 )
第三节 传统程序设计与知识工程的区别.....	( 4 )
<b>第二章 人类求解问题的过程</b> .....	( 6 )
第一节 人类的信息处理过程.....	( 6 )
第二节 一种处理模型：产生式系统.....	( 8 )
第三节 问题求解.....	( 9 )
第四节 知识的种类.....	( 12 )
第五节 什么是专家知识.....	( 12 )
<b>第三章 知识的表示</b> .....	( 14 )
第一节 知识库概述.....	( 14 )
第二节 表示知识的方法.....	( 15 )
<b>第四章 推理</b> .....	( 26 )
第一节 推理问题.....	( 26 )
第二节 控制问题.....	( 30 )
第三节 对未来的知识系统和发展问题的展望.....	( 35 )
<b>第五章 语言和工具</b> .....	( 37 )
第一节 软件层次.....	( 37 )
第二节 语言——工具延续.....	( 39 )
第三节 语言和环境.....	( 42 )
第四节 知识工程工具.....	( 45 )
<b>第六章 实用的知识工程工具</b> .....	( 49 )
第一节 工具的种类及适用的系统范围.....	( 49 )
第二节 咨询模式(Consultation Paradigms).....	( 49 )
第三节 知识系统工具的评价.....	( 51 )
第四节 工具介绍.....	( 52 )
<b>第七章 专家系统实例</b> .....	( 62 )
第一节 MYCIN 系统.....	( 62 )
第二节 DENDRAL 系统.....	( 66 )
第三节 HEARSAY 系统.....	( 67 )
第四节 PROSPECTOR 系统.....	( 69 )
第五节 XCON 系统.....	( 70 )
第六节 DELTA/CATS-1 系统.....	( 72 )

<b>第八章 构造小型知识系统</b> .....	( 74 )
第一节 小型知识系统的作用.....	( 74 )
第二节 构造小型系统.....	( 75 )
<b>第九章 怎样开发大型知识系统</b> .....	( 92 )
第一节 知识工程.....	( 92 )
第二节 知识系统开发.....	( 93 )
<b>第十章 专家系统的展望</b> .....	(102)
第一节 系统类型.....	(102)
第二节 大型综合系统.....	(102)
第三节 大型专门系统.....	(103)
第四节 专用工作站.....	(103)
第五节 小型专门系统.....	(104)
第六节 灵活的通用软件.....	(104)
第七节 系统的固化.....	(104)
第八节 其它应用.....	(104)

# 第一章 引言

从六十年代中期开始,人工智能(AI)在专家系统这一领域的研究中取得了很大的成功。由于专家系统在许多领域应用中都取得了成绩,因而专家系统技术的研究范围也日益广泛,越来越多的人希望能利用这一技术解决各自面临的问题。为了使大家对专家系统有更好的了解,首先介绍一下有关专家系统的一些基本概念和它的发展简况。

## 第一节 什么是专家系统

斯坦福大学教授、专家系统方面的权威之一,爱德华·费根堡把专家系统定义为:

“……一个使用知识和推理过程来解决那些需要杰出的专业人员才能解决的智能程序。在这一层次上解决问题所必需的知识,加上推理过程,可以认为是对从事该领域的专家水平的模拟”。

“专家系统的知识由事实和启发信息组成。‘事实’一般要得到某一领域内专家的公认,从而组成一个可以共享的公用数据体。‘启发信息’主要是专门的有效判断规则(似真推理规则,好的猜测规则),这些规则从该领域的专家决策中提取出来。专家系统的处理水平主要与它拥有的知识库的大小和好坏有关。”

费根堡把建造专家系统的人称为“知识工程师”,把建造专家系统这一技术称为“知识工程”。最初的系统是通过和某个公认的专家进行对话,得到该专家的知识而建立的,因而使用了“专家系统”这个词。然而近来的一些系统已经包含了有相当难度的决策知识,不能再和某一个专家等价了,因而现在多数知识工程师更乐于使用“知识系统”来说明他们的系统。同样为了避免使人们认为所有的系统都只是根据某一专家的知识建立起来的这一陈旧观念,“知识工程”的提法很快地得到普及。

专家系统是人工智能的一个研究领域,并已经成为它的三个最有发展前途的方向之一。知识工程和专家系统是以人工智能的原理和技术作基础的。不过,人工智能学科主要研究抽象的问题求解,而知识工程则把注意力集中在求解特定问题的专家行为上。专家系统领域更注重在具体的专业范围内建立高性能程序,它强调把研究重点放在人类专家的知识上,而不是放在形式推理的方法上。

从上面的叙述中,我们也可以说专家系统领域是研究用解决某一专门问题的专家知识建立人机系统的方法和技术。一般地讲,专家的能力包括某个具体专业领域的知识,对该领域中问题的理解,以及解决这些问题的技能。专业知识可以分为两类:公开知识和个人的专有知识。公开知识包括定义、事实和理论,这些往往已收录在教科书和参考书中。但专家的能力往往不限于已经公开发表的知识。他们一般都使用个人专有的经验知识。而且,专家也能在必要时作出猜测,辨别有效的解决问题的途径,和灵活地处理带有错误的或不完全的数据。因此,建立专家系统的中心任务就是解释并重新组织这种知识与能力。

知识工程师在开发专家系统的过程中,首先要确定专家在求解问题中使用的专业知

识, 研究某一位专家, 决定专家采用的事实和解决问题的经验。然后, 知识工程师决定求解实际问题时采用的推理策略。最后, 知识工程师研制一个使用类似知识和推理策略的系统来模拟专家的行为。

专家系统一般都采用人机交互的方法进行工作。这是因为专家的工作方式往往是根据问题的情况向人们提供意见以帮助人们解决问题。所以, 专家系统一般都向用户提问, 在需要的时候才能解释推理过程, 最后作出结论。专家系统使用用户容易理解的语言, 也允许用户跳过某些阶段或问题来求得解决问题的方法。多数系统在用户提供的信息不够完整或不够确定的情况下, 应仍能很好地运行。

专家系统是具有密集知识的计算机程序。它们包括大量的专业知识。为了利用这些知识进行推理, 专家系统需要通过经验估计或启发信息来集中处理各种问题。它们经常同时考虑多个假设, 选定某一假设或给它们加权以便继续完成处理。好的专家系统可以在有限范围内赶上或超过实际专家的水平。

不过, 专家系统, 知识工程还只是一项新技术, 刚刚开始在各种复杂的实际问题中应用。今天的专家系统还局限于有确定范围的任务, 它们不能超越某一特定领域进行广义的推理, 它们也不能从原理和理论出发推到事实。一般地说, 它们还没有学习功能, 只能由人们给定的专门事实和启发。它们没有一般概念, 不能进行类比, 只要超出它们的问题范围, 就不能很好工作。

当然, 专家系统也有自己的独特优点。譬如, 它的判断不带有任何偏见, 也不先下结论, 然后再从未能证实的证据中寻找支持结论的证据。一般说来它们不会忽略每一细节, 能够系统地考虑每一可能的假设。而且有的系统往往带有来自不同专家的大量启发规则, 能比单个专家更好地解决专业问题。

上面简单地介绍了专家系统的一些概念, 由于这是一项新兴的技术, 术语和定义都还没有规范化, 我们的希望是通过本书使大家对这一领域有一个大致的了解, 因此将不拘泥于定义和术语的某些细节。

## 第二节 专家系统发展的历史回顾

专家系统是实用的人工智能技术, 专家系统的发展历史, 在一定程度上也是人们对人工智能如何投入实际应用所作的努力和探索的过程。

早在二次大战将要结束时, 英国和美国的科学家就开始研究制一种能根据指令完成复杂运算的电子装置, 也就是我们现在所说的电子计算机。著名的英国科学家阿兰·图灵认为这种机器应当是可以有許多不同用途的通用机, 所以这种机器的基本指令应以逻辑运算作为基础。这一思想反映在他战前完成的形式逻辑著作中, 主要是通过“与”“或”“非”这些非常一般的运算符来完成各种复杂的数值运算, 而更为重要的是, 以逻辑运算符为基础的程序能够处理人们可能遇到的各种符号材料, 包括用自然语言书写的文章。

由于历史的原因, 计算机最初是作为数值处理机被制造出来的, 而且采用了数值运算如加减等作为基本运算符。这样的机器当然最适合于数值处理, 多年来人们也习惯于用计算机作数值处理。于此同时, 另有一些科学家已在不断地寻找用数值计算机进行非数值处理的方法, 他们的工作为人工智能的发展奠定了基础。



人工智能的目的，就是要使计算机能模拟人的行为，能在某一方面具有与人相近或超过人的水平的能力。人工智能学科自创立以来，科学家们为使人工智能学科投入应用作出了不懈的努力，但都因为代价昂贵，实际收效又甚微，没法推广使用。直到专家系统技术出现之后，局面才有了改变。

专家系统的研究开始于六十年代，随着经验的积累，人们终于认识到仅用通用的问题求解策略来解问题是不行的，人们日常遇到的问题是很复杂的，通用策略又很有限，因而人们把注意力转到了专门的领域。

七十年代中期，开始形成的几个专家系统，使研究者们认识到了知识的重要，并着手研究综合的知识表示理论。一九七七年，费根堡指出：专家系统的威力是从它处理的知识中产生，而不是从某种形式及其使用的参考模式中产生的。专家的知识是专家系统能力的关键，而知识表示及推理方法为其应用提供了手段。

对专家系统的研究，由不同的线索发展而来，从这些发展线索中出现了各种成功的系统，正是这些系统，使专家系统能成为一项有广泛应用前景的技术。

斯坦福大学从很早就开始研究 DENDRAL 系统，它分析大量的由核磁共振质谱仪和其它化学实验提供的的数据以推断某种未知化合物的可能结构。DENDRAL 在问题求解过程中采用了一种改进的产生——测试方法，首先产生与数据一致的不完全分子结构，然后以各种可能方式将这些成分合成，并尽快删除不可能结构以减少搜索次数。从 DENDRAL 发展的 Meta-DENDRAL 在 DENDRAL 的基础上用筛选有机结构分裂规则的方法为系统增加了分析能力。

另一条线索是从 SAINT 系统开始，经过 SIN、MATHCAB 最后形成 MACSYMA 系统，这是一个以符号形式进行微积分运算的系统，尤其擅于简化表达式，它的求解方式是找到一串运算法则把原表达式变换成合理的简化形式。

在医学方面的实例就更多，象 CASNET, EXPERT, INTERNIST, CADUCEUS, 和颇负盛名的 MYCIN。

MYCIN 系统对专家系统发展产生的影响很大，它是一个进行传染性血液病诊断与治疗的系统。它的知识大约由 400 条有关规则组成，它根据已有的数据检验规则的条件，达到向医生询问的同样目的，如果条件符合，则可推出新的事实并进一步推导其它规则的条件是否也满足，直至推理完成。该系统经过专家鉴定，性能相当或高于其它代表。

TEIRESIAS 是 MYCIN 的一个分支，它是一个辅助程序，帮助把人类专家的知识转变为知识库。

此外，MYCIN 的影响还在于对简单的 IF-THEN 独立规则的应用。SRI 的 PROSPECTOR 系统用了与 MYCIN 类似的办法，构造了十二个不同矿藏的知识库，取得了很好的效果。

斯坦福还因 MYCIN 产生了一个与领域无关的版本，命名为 EMYCLN，亦成为专家系统工具，并用它完成了有关系统的诊断，如 PVFF 系统。

另一个努力是从研究产生式系统语言着手，从 PSG 到 OPS 系列，并导致了 RT 系统的开发，它为 DEC 的 VAX 计算机进行系统结构配置。

最后，还有一条线索来源于对人类语言的理解，其中包括 HEARSAY-1, I, II, 以及 AGE 系统。

以上我们简单地回顾了专家系统的发展过程，通过这一回顾可以看到，专家系统的关键在于知识和经验的应用，随着专家系统的不断成熟，今后若干年内定会有更大的发展。在这方面，斯坦福大学、卡耐基—梅隆大学、和麻省理工学院的工作一直处于领先地位。

### 第三节 传统程序设计与知识工程的区别

目前的计算机已能完成大量的数据收集和处理，这类大型数据处理系统都是采用传统的程序设计技术实现的。它们处理数据靠的是复杂的算法，而算法则是由一系列简单步骤组成的可执行程序，只要输入的数据正确就能保证结果也正确。

传统程序的工作情况只有编制它的人才明白，用户只能等待执行的结果，中间出了问题只能由程序员检查代码来查看情况，寻找问题的关键所在。

而专家系统就完全不同了，它是高度交互的，用户可以在任何时候中止处理，询问为什么要选用某一提问线路，为什么会达到某一特定结论。在许多情况下，系统提出的建议。谈不上正确不正确，而只是讲不讲得通而已。

专家系统的特点主要有这样几点：

1. 专家系统完成的任务，原先是由具有专门知识的人完成的。
2. 知识系统的完成必须依赖知识工程师和专家双方的努力，而传统程序主要是由程序员完成的。
3. 专家系统的知识库能读易改，而程序就不同了，只有程序员才能熟练地读、改他们自己设计的程序。
4. 知识系统的工作主要靠启发实现，而程序则依赖算法。

从程序设计的角度来看，专家系统与传统程序设计技术又存在着这样一些区别：

1. 从编程的思想来说，传统技术主要讨论算法，以算法的正确与否确定程序的正确性，并严格依照算法编程。而专家系统的思路则要依照专家求解问题的过程，用启发方法来模拟这一过程。
2. 从方法上来说，传统技术把控制和信息混在一起编程，而专家系统技术则尽量把控制结构从知识中游离出来分开编写。
3. 从对象来说，传统技术更适合于数值处理，而专家系统则必须完成大量的符号处理工作。
4. 用传统技术编制的程序主要采用顺序方式和批处理方式在计算机上执行，而专家系统则需要高度的交互技术。
5. 对于要求的结果，传统程序以算法为基础，往往需要找到正确的答案并要求优化，而专家系统常常只要能找到满意的答案甚至可以容忍某些不确切的答案。
6. 对用户来说，传统程序不能在运行中解释运行过程，也很难修改，而专家系统则要求在运行过程中向用户提供解释，而且易于修改、更新和扩充。

我们还可以观察一下专家系统的设计过程，从中也可以看出它与传统程序设计技术的差别。开发专家系统的知识工程师既注重于软件设计，也注重分析专家求解问题的方法，他们通过和专家交谈来确定专家使用的知识和推理策略并尽可能正确地用合理的知识表示方式和推理模型把他们描述出来。这里，要求把程序设计技术和感知心理学结合起来。

专家系统的工作人员需要经常和专家会面，他们并不试图一次就把问题全部解决，而只是先找出一个突破口。他们先用很少的事实和规则构造一个系统的雏型 (prototype)，然后通过状态测试来观察这个系统的工作情况。遇到问题之后，他们再回到专家那里去继续问问题，再修改这个系统。换言之，开发专家系统是一个不断地进行近似研究的过程。系统开发一定要有灵活的工具，因为可能事先并不知道专家系统的最终面貌。

与此相反，传统程序的设计技术要求程序员先和专家一起尽可能详尽地完成一个算法设计，然后将此设计按部就班地编成程序。程序可能很复杂，因而需要很长的时间才能完成整个设计。

虽然专家系统技术有了这么多的不同点，但说到底和传统程序设计技术之间并没有本质差异，它只是使计算机科学的基本原理扩展到了一个更高的水平。归根结底，专家系统也还是在一个能运行 FORTRAN 或 BASIC 程序的计算机上运行的。知识系统可以翻译成传统的程序设计语言。专家系统的根本突破在于使人们认清了可以用什么方法来让计算机求解问题。对知识工程技术的学习可以加深对这一概念的理解。

## 第二章 人类求解问题的过程

AI研究的对象就是怎样来模拟人类求解问题的过程，而且很多AI工作者都很了解感知科学的内容。感知心理学和人工智能都认为人类的问题求解过程可以用信息处理模型来概括。

本章将从这个角度出发，将先对人类的信息处理过程作简单描述，然后再引入问题求解的概念，最后讨论人类的专家水平。这一章中介绍的概念将作为后面几章的基础。

### 第一节 人类的信息处理过程

我们并不打算用神经生理学的方法来描述人的信息处理过程，我们将用计算机科学中的信息处理过程来描述这一感知行为。这并不是说人就是计算机。也没有人认为二者的内部功能是完全一致的。然而，为了能更精确地研究人对信息进行的处理及其采用的策略，有必要将问题集中到人类的信息处理模型上。

我们把人类的信息处理模型分为三个子系统进行描述：感觉系统，认知系统和运行系统，图2.1给出了各个子系统以及它们之间的关系。

#### 一、感觉的输入

人类信息处理系统的输入是外部刺激，这种刺激通过人的感官进入这一系统，而感觉子系统由各种感官和暂时存贮正在输入的信息的缓冲存储器组成。而这种信息需等待认知子系统的处理。

#### 二、短期存储器

缓冲的存储器中的信息有一部分通过认知处理器传送到短期工作存储器。感官不停地把大量信息存入缓冲器，而认知系统只是把有用的信息挑出来进行编码，这种选择过程就是通常所说的“注意”。

认知处理器和计算机中的中央处理单元(CPU)一样，从感觉缓冲器中取得信息并送入工作存储器。按这个原则，认知处理器形成了“识别—动作”周期，这类似计算机中的“取指—执行”周期。认知处理器在每个周期中，从一个存储器中取得信息，加以估算，然后再存入另一个存储器。据估计人的这一认知处理周期大约需要70毫秒。

对最简单的任务来说，认知系统只是从感觉输入到行动输出之间一个中间点。象拉开关电灯之类的习惯性动作就是如此，完成这类动作只需要动作的配合而不必“深思熟虑”。事实上，这时的“思维”是不用明显的形式表现出来的。

复杂的动作牵涉到很多信息，也需要更详尽的处理。比如，学会新的程序设计语言，会见一个新朋友并记住与他有关的事，求解二次方程等，都是复杂的动作。为了完成这些工作，认知处理器就要用到次级存储系统：长期存储器。

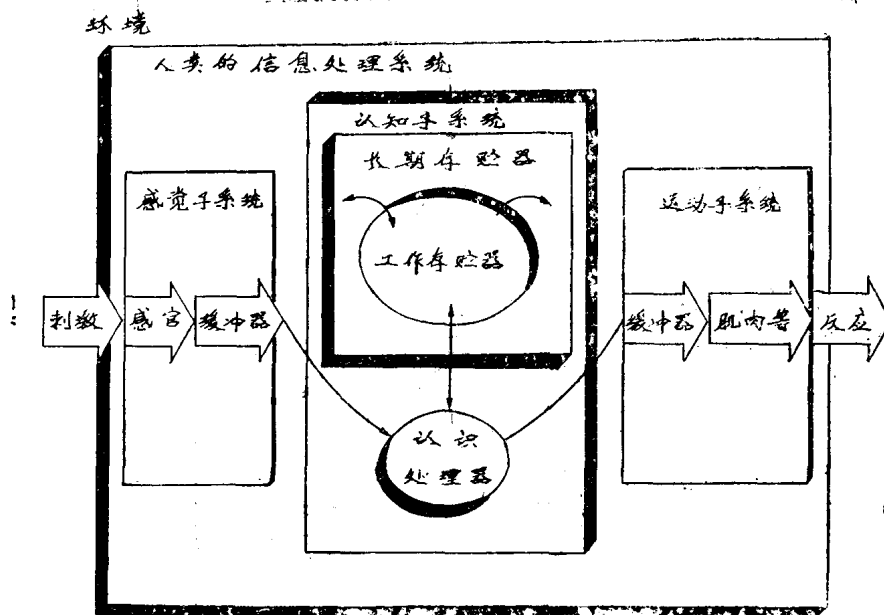


图 2.1 人类的信息处理系统模型

### 三、长期存储器

长期存储器存储了大量的符号，并带有复杂的索引结构。其元符号是什么？它是怎样组织的？对这些问题人们有着不同的假设。不同的假设导出了不同的模型，在更深一层的模型中，有的把符号组织成描述(如框架)，而有的则组合成一个网络(如语义网)。

人们在研究人类的问题求解过程时发现，人在求解问题时总是尽量把各种数据组合起来加以记忆和处理。比如，象棋大师都能很快地记住棋局，如果棋局被弄乱了，他们都能又快又正确地把每个棋子复位。实际上，象棋大师并不能把每个棋子的特定位置都一一记住，他们并不是注意单个棋子，而是把所有的棋分成若干个模式或组合。当要求他们重建棋局时，他们就先回忆某一特定的已有模式，然后把棋子推断出来。这就是说，他们总是把单个棋子组合成模式，再把小模式组合成大模式，这样，他们就能考虑到各种模式间可能出现的相互作用。感知心理学的研究说明，各种专业人员在处理问题时都是采用这类方法的。

语义网在某种意义上说是一个比较好的模型。图 2.2 给出了一个例子。人们在生产中积累经验并把它们组合成信息体，这种信息不断地积聚起来，形成的信息体也越来越庞大。一个人大概只能在短期存储器中存放四到七个信息体，这时，人们可以不借助书本、图片、注记等材料完成思维活动，这就是人处理信息的能力。如果采用适当的外部介质记录信息，则可以增加同时处理的信息量。

人们在早期提出的信息处理存储模型中，把短期(工作)存储器和长期存储器分开考虑。近来，多数的研究人员认为短期存储器只是在某一时刻激活的一小部分长期存储器。由于人的认知处理器容量有限，所以新的信息加入之后，原先的信息就慢慢地被溢出了，

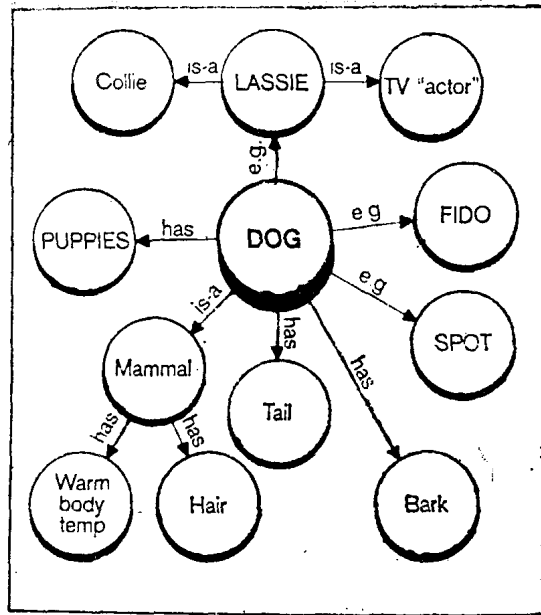


图 2.2 一个语义网，由一个符号及其它有关符号和相互联系组成，当人们想到这个符号时，其它符号就会通过这个符号激活

而思维就可以描述为从一组信息到另一组信息的扩展。

长期存储器保存了一个人积累的大量知识，这些知识又联成一个复杂的网络。目前对长期存储器的一些情况还不很了解，比如，可以存储的信息容量，处理信息的方法等。

在长期存储器中加入新的信息需要一定的时间。一般要七秒钟才能把一组信息联入长期存储网络。

尽管存储时间比较长，但人类信息处理系统访问长期存储器的速度却只要七十毫秒。事实也正是如此，人们可以很快地完成某些熟悉的事情，但接受新知识的速度却并不很快。很多专家都要在自己的领域里工作几十年才能成功，而这么长的时间就是为了获得经验并加以编码，集中并组织这些知识。

#### 四、运动输出

为了完成整个系统的分析，我们回到认知处理器的“识别—动作”周期。在处理完成后信息一般送往运动系统。运动处理器控制肌肉及其它内部系统的活动。

## 第二节 一种处理模型：产生式系统

为了模拟人对符号信息的处理过程，AI 研究者发明了一种“程序设计语言”叫“产生式系统”。产生式系统由两部分组成：(1)产生式规则if-then语句，(2)工作存储器。更深入地来看，产生式就是上节所说的“识别—动作”处理器指令。产生式规则作用于工作存储

器，如果匹配成功，就给存储器送入新的信息。

产生式系统提出了一个模拟人类思维活动的强有力的模型，因为它是离散的，而且简单灵活。它在发展模拟人类行为的程序中取得了成功，很多专家系统都可用产生式系统来进行描述。

产生式系统的另一个优点是在感知心理学中自然地融入行为学理论。行为学理论忽略认识，注重外界刺激及其反应。而感知心理学家则利用产生式系统的模型，把内部的精神活动和外部行为结合到一起。事物产生刺激，并作用于我们的感官，感官感受刺激并把它们存入缓冲区。其中某些刺激进入工作存储器，这些刺激活产生式规则的if部分。然后由该规则的then部分指明适当的动作，动作由运动系统实现，并作为反应显示出来。

对人类信息处理的这一粗略的描述，为我们以后将要详细讨论的知识工程提供了基础。

### 第三节 问题求解

现在，我们要更为一般地考虑对人类思维的模拟，也就是从对认识的微观分析转到智能分析和问题求解行为方面来。

所谓问题求解就是要找到一条从初始状态通向预期目标的途径。问题求解通常是指求解那些一开始并不知道解法的问题，所以，并不是所有的信息处理都属于问题求解，比如瞬间反应和有严格确定的解法的问题都不属于问题求解。

#### 一、问题的描述

要求解问题，首先就要描述问题。我们通过一个小问题来说明问题的描述，比如，拿出四个硬币，两个作为N两个作D，按图2.3的样子做一个横条，把硬币放上去，然后照图中的规则移动，交换硬币的位置最后达到了目标。（这个问题称为NDP）

也许这个问题过于简单，读者只要想一想就能找出答案。但在这“想一想”的过程中，实际上就有一个如何把形象的问题转化到问题的符号表示，或者叫问题的精神模型。感知科学家把这种模型归结为“问题空间”。问题空间由两方面组成：

1. 元素或符号组成的模式。每个模式代表可能出现的状态。在NDP问题中，硬币的各种组合就是问题的状态。
2. 元素之间的关系对应于把一个状态变为另一个状态的操作。“跳步”和“滑动”是NDP问题的两个算子。

有了这个定义我们可以更为精确地说明什么是问题求解，问题求解是“从一个初始状态出发，搜索整个问题空间，最后确定一个可以达到某个目标的操作或动作序列”。

#### 二、问题求解策略

仍以NDP问题为例，人们一般怎样解决这类问题的呢？可能他会试着走几步，并不对怎么走先作好计划，当发现走进了死胡同时，他会把硬币退回来换一种走法。或者我们也可以倒过来，从目标开始向初始状态靠，看看是否简单一些。图2.4显示了在试走了几步之后僵在没有合法状态可用的状态上。不过我们可以重新开始，也许又走到僵局，如此

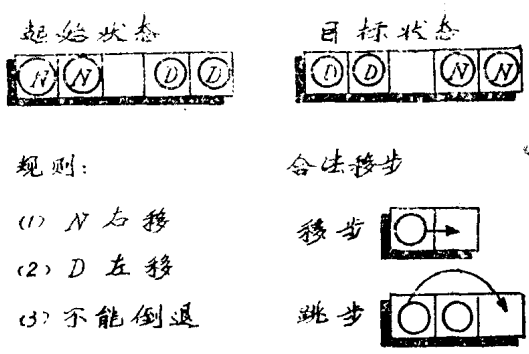


图 2.3 NDP问题

往复。这就是“走一步，看一步”的想法，用术语来说，这种策略叫“生成和测试”。先生成一个状态，然后看看是否已经达到了目标，要是运气好，也许一下子就能找到答案。

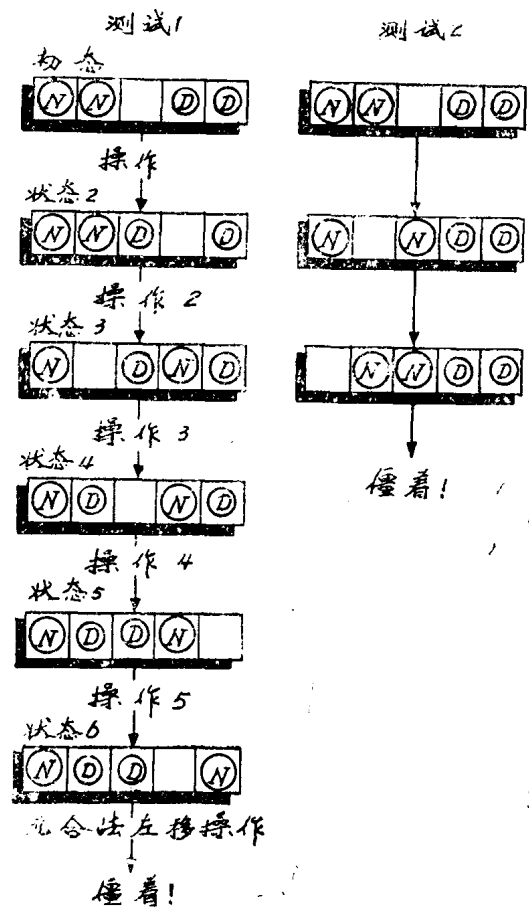


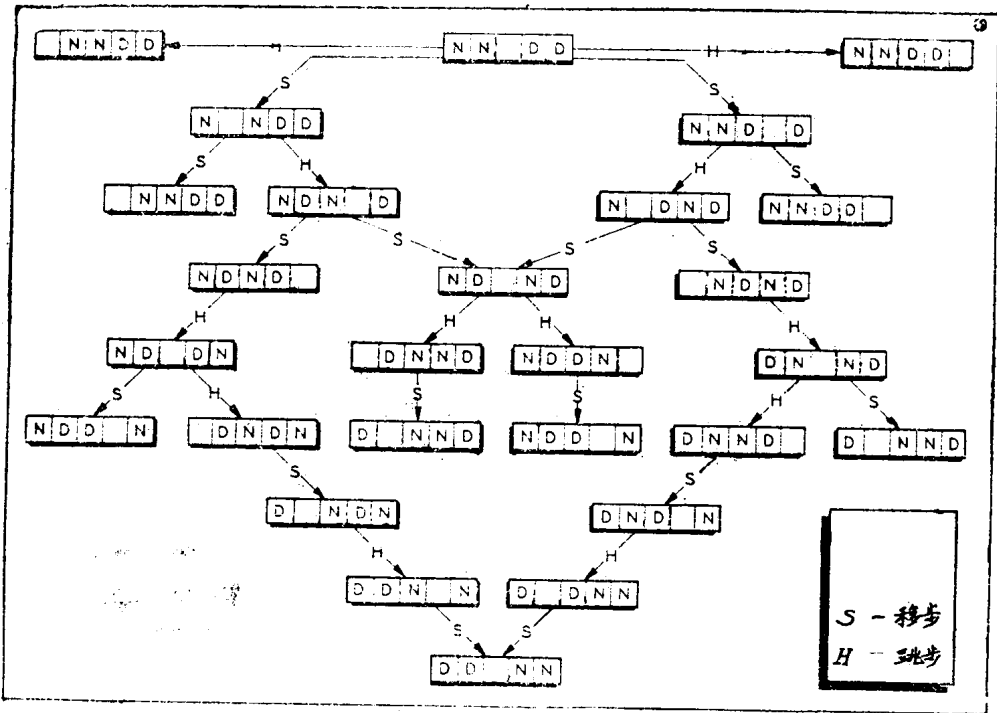
图 2.4 NDP的几个生成和测试

要想更系统地看问题，就要用各种可能的途径发展初始状态。对于 NDP 问题，即使把所有的状态都画出来也没有多少种。这样一来，就可以很方便地找到从初始状态到目标



状态之间的各种通路，也就是问题的各种解法。

如果我们遇到的问题都象 NDP 问题那样可以明确地决定问题的初始状态，目标状态和操作，那末我们就可以从初态出发，系统地产生所有的中间状态，并找到答案，至少理论上如此。



NDP问题的状态空间

### 三、只用搜索无法求解的问题

并不是每一种问题都象 NDP 问题那样可以方便地用问题空间来描述的，主要有如下几种问题：

1. 目标不够明确。
2. 问题状态不是离散的。
3. 算子不确定。
4. 问题空间无限大。
5. 时间方面无法满足实时性的要求。

总之，这类问题缺少一些应有的限制，若只用状态空间搜索方法就不能真正解决问题，而这些都是常见的问题，所以必须要另辟蹊径来加以解决。

### 四、知识为问题求解提供了新的方法

我们怎样才能解决那种不能用简单的搜索来解决的问题呢？看看我们的日常生活就能找到答案，那就是使用知识。我们用知识澄清目标，用知识限定算子，用知识简化问题空间，总之，我们能用知识简化我们的问题，使问题能迅速地得到解决。