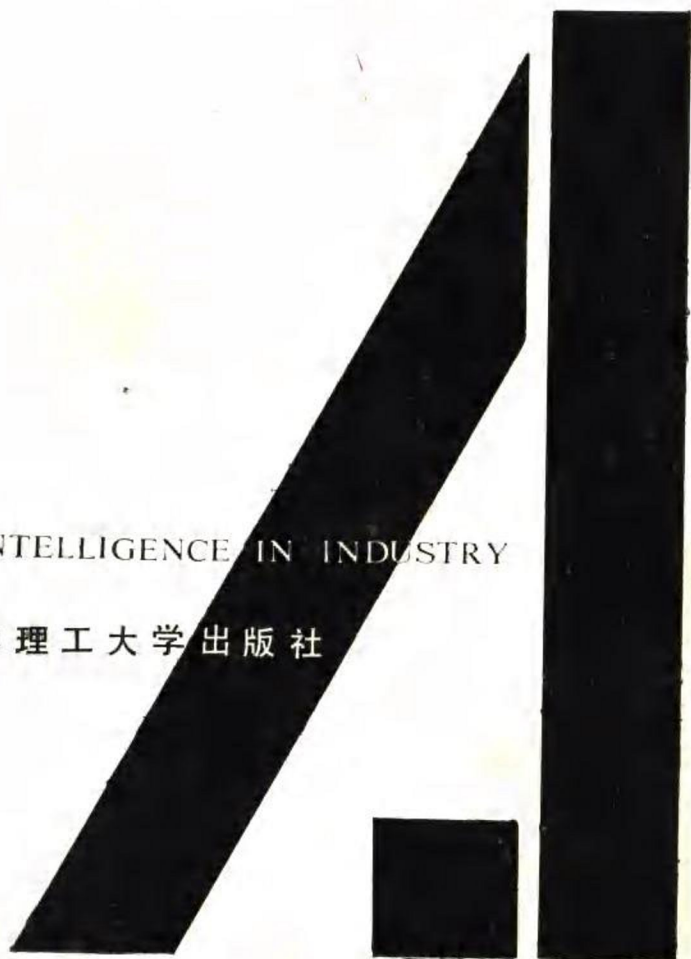


机械设计 专家系统概论

周济 王群 周迪勋 编著

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN INDUSTRY

华中理工大学出版社



内 容 提 要

本书是一本关于机械设计专家系统的入门书。全书由LISP程序设计基础、知识的获取和表示及知识的利用、建立机械设计专家系统、工程设计专家系统实例四个部分共六章所组成,系统地介绍了机械设计专家系统的原理、方法、关键技术和程序设计等基本内容,深入地讨论了如何应用机械设计专家系统技术的实际问题。

本书系统性强、内容完整、叙述清楚、实用性强,可作为高等院校机械类专业高年级学生和研究生的教科书,亦可作为有关的工程技术人员的学习参考书。

机械设计专家系统概论

周济 王群 周迪勋 编著

责任编辑 钟小珉

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

武汉大学出版社印刷总厂印刷

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 9.375 字数: 232 000

1989年3月第1版 1989年3月第1次印刷

印数: 1—3 000

ISBN 7-5609-0275-8/TP·24

定价: 1.95元

前 言

作为人工智能的一个重要分支,专家系统技术近年来发展非常迅速,开始在各个领域中得到广泛的应用,引起了人们的高度重视。专家系统是一种计算机程序系统,由于包含了人类专家的丰富知识,又能进行逻辑演绎推理,因而能够在特定领域内象专家一样解决问题。专家系统技术在机械设计中的应用,将大大提高设计质量和设计效率,具有重要的应用价值和巨大的应用潜力。

近年来,在国家自然科学基金的资助下,本书作者开展了机械设计专家系统方面的研究工作,取得了一系列的研究成果。本书就是作者在广泛参考国内外文献资料的基础上,总结几年来的工作经验和体会而编著成的。

全书的编写宗旨是先进性和实用性,力求全面深入地反映这一领域内的先进理论和研究成果,同时也注重实践方面,使得读者能够学以致用。

本书系统地介绍了机械设计专家系统的原理、方法、关键技术和程序设计等基本内容,深入地讨论了如何应用机械设计专家系统技术的实际问题。

本书可作为高等学校机械类专业学生的教科书,亦可作为有关的工程技术人员的学习参考书。

在本书的编写过程中,华中理工大学的余俊教授多次审阅书稿,提出了宝贵的指导性意见;华中理工大学机械设计教研室的各位老师 and 研究生给予了热情的支持和全力的帮助。在此谨对各位

为本书的出版给予支持和帮助的同志表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免还存在错误和不妥之处，恳切希望读者批评指正。

周 济

王 群

周迪勋

1988年4月20日

目 录

第一章 专家系统技术与智能型机械CAD系统	(1)
§1-1 对人工智能技术的探求	(1)
§1-2 专家系统技术和知识工程	(4)
§1-3 机械设计专家系统与智能CAD	(17)
第二章 LISP程序设计基础	(29)
§2-1 LISP语言入门	(29)
§2-2 LISP语言的数据类型及数据结构	(35)
§2-3 MACRO-LISP的基本函数	(41)
§2-4 定义用户函数	(55)
§2-5 LISP程序设计	(66)
§2-6 用LISP实现产生式专家系统的实例	(78)
第三章 知识的获取和知识的表示	(97)
§3-1 知识的获取	(97)
§3-2 知识表示的方法	(103)
§3-3 基于一阶谓词逻辑的知识表示	(105)
§3-4 基于规则的知识表示	(116)
§3-5 基于框架的知识表示	(126)
§3-6 语义网络	(142)
§3-7 关于知识库设计的若干问题	(147)
第四章 知识的利用——推理方法与控制策略	(150)
§4-1 专家系统控制策略的基本任务与基本要求	(150)
§4-2 问题的表示方法	(152)
§4-3 搜索	(156)
§4-4 规划	(171)
§4-5 推理	(183)
§4-6 不精确推理	(186)
§4-7 适合于工程设计专家系统的控制策略	(191)

第五章 建立机械设计专家系统	(193)
§5-1 机械设计专家系统的特点	(193)
§5-2 设计问题的概念化与形式化	(196)
§5-3 机械设计专家系统的控制策略	(202)
§5-4 机械设计专家系统的推理机设计	(208)
§5-5 机械设计专家系统的规则库设计	(222)
§5-6 机械设计专家系统的框架系统设计	(231)
§5-7 机械设计专家系统的评价子系统	(256)
§5-8 机械设计专家系统的测试与考核	(259)
§5-9 建立机械设计专家系统的组织和管理工作	(265)
第六章 工程设计专家系统示例	(269)
§6-1 XCON	(269)
§6-2 TURD	(278)
§6-3 WLGS	(283)
§6-4 DAMSES	(286)
§6-5 ZJCAD	(289)
参考文献	(293)

第一章 专家系统技术与智能 型机械CAD系统

§ 1-1 对人工智能技术的探求

一、机械CAD与人工智能

计算机辅助设计(CAD)技术的发展,从根本上改变了机械设计自动化的研究方向,在机械设计领域内正引起一场深刻的变革。应用CAD技术,可以提高机械设计的质量和效率,提高机械产品的设计水平,因而,机械CAD技术受到了人们的普遍重视,近年来得到了迅速的发展。然而,机械CAD在继续发展的道路上还面临着严重的困难,还要解决一系列理论上和技术上的问题。问题的核心是“智能化”,即把人工智能技术引入到CAD中,以形成智能型机械CAD系统。

人们把机械设计的过程考虑为一个制作模型的过程。模型的创造是一个综合的过程,而评价某一特定的模型则是一个分析的过程。设计的全过程就是考虑多种模型,并不断地进行综合和分析的过程,即反复地创造模型和评价模型的过程。这样,机械设计的活动大致可以分为两类工作:一类是数值计算型工作,它包括大量的计算、分析与绘图;另一类是符号推理型工作,主要是方案设计工作,例如,初始方案的拟定、最优方案的抉择、结构设计、工艺方案的规划等。方案设计是一种创造性活动,只有依靠思考与推理,综合运用许多学科的专门知识和丰富的实践经验,才能得到正确的、合理的设计。概括起来说,设计模型包含数学模型和知识模型两方面的内容。数值计算型设计工作的主要任务是建立和处理数学模型,而符号推理型设计工作的主要任务

是建立和处理知识模型。只有将两部分的工作有机地结合起来，才能制作出好的模型，获得好的机械设计。

目前的CAD技术是以数值计算为基础的，因此它能够比较圆满地完成第一类工作，而对于第二类工作则是非常为难的。然而，从某种意义上讲，综合（即方案构思性设计）是机械设计中最为重要的方面，对于设计的优劣具有决定性的影响。因此，必须努力在这类工作中也运用计算机，以提高CAD的实用水平。这就是说，真正有效的CAD系统，不仅能很好地处理数据信息，而且能很好地处理知识信息，即能够进行符号处理和符号推理。也就是说，只有采用人工智能的原理和方法，才能取得运用计算机进行创造性的辅助设计的功效。

虽然关于创造“智能机器”的设想早在19世纪就已萌芽，但作为一门科学的人工智能仍是相当年轻的，大约开始于本世纪50年代初期。当时，人们认识到，计算机不仅是一个快速运算数据的机器，同时它也非常有利于符号表达和逻辑推理。因此，数值计算和人工智能的研究，迅速地分离成为计算机科学的两个主要研究方向。三十余年来，数值计算和分析的研究取得了巨大的进展，对于科学技术（包括工程设计）产生了巨大的影响。然而，正如机械CAD所遇到的问题一样，不是所有的自然现象都能很好地用数学模型表达出来，在很多情况下，用符号表示和逻辑推理能更好地表达事物的本质。因此，要使计算机在科学和技术中得到进一步的应用，就必须把数值计算和符号推理结合起来。

利用计算机解决符号表示和逻辑推理的方法是一种试探（试验-探索）的方法：将解决问题的各种可能方案，一个一个地进行试验，若一个方案行不通，再试验下一个方案，直到得出正确的结果为止。例如，欲将五个不同颜色的棋子排成一列，若用计算机排成符合某种预定条件的图形，这时，存在 $5! (= 120)$ 种不同的方案，如果按照预计的程序，挨个进行探索，最多试验120次，总可以找到正确的图形。然而，当棋子个数增加为十个时，则用试

探法要试验 $10!$ ($=3628800$)次。而且,随着棋子个数的进一步增加,试探算法所需的时间增加极快,这种现象叫做“组合爆炸”。因此,这种算法只能解决小规模的问题,一旦问题的规模较大,就连最先进的计算机也无能为力了。在实际生活中,人们在解决众多而又复杂的符号推理问题时,并不采用盲目试探的方法,而是依据知识和信息进行思考,舍弃那些希望不大的搜索方向,并且科学地规划,首先对于那些最有希望的方向进行搜索,从而大大加快了搜索的进程。因此,采用人工智能的技术,是计算机解决符号推理问题的根本出路。

二、对人工智能发展的简要回顾

人工智能的发展,经过了三个时期:从19世纪40年代到本世纪50年代中期,是孕育形成的时期;从50年代中期到60年代末期是成长发展的时期;从60年代末期至今是成熟和应用的时期。

人工智能在成长发展的初期,有几项关于问题求解的研究工作获得了成功,给人们留下了深刻的印象。例如,1955年Samuel编制的下棋程序,不仅能与对手下棋,而且能积累下棋过程中所获得的经验并进行自我完善,且于1962年击败了美国州级跳棋冠军。又如,Newell和Simon于1956年编写的逻辑推理程序,能模拟人类运用数理逻辑证明定理的思路,证明了名著《数学原理》第一章中的全部(52个)定理。博弈和定理证明这两个例子是运用计算机模仿人脑从事思维活动的重大成果,是对人工智能研究的良好开端。此后的一段时期中,人工智能研究的中心问题是探索广泛普遍的思维规律。总之,研究工作是有成效的,但是与突飞猛进的数值计算技术比较起来,人工智能技术的进展是过于缓慢了。

专家系统技术的出现,使人工智能的研究发生了转机,进入了人工智能发展的第三个时期。在这个时期中,对于诸如文字识别、语音识别和图象识别等模式识别问题,对于诸如机器翻译和自然语言理解等语言处理问题,以及通用问题求解方面,人工智

能技术都有了很大进步。然而，人们一致认为，这个时期的主要标志是专家系统技术的迅猛发展和广泛应用，人工智能的这个主要分支已经进入实用化阶段，并在科学技术及国民经济的各个领域内发挥着越来越巨大的作用。

§ 1-2 专家系统技术和知识工程

一、专家系统的基本原理

“专家系统”是一种计算机程序，且是一种能够在专家水平上工作的计算机程序。由于具有领域专家的知识 and 能力，因此，这种系统能够在特定的领域和范围内，为解决复杂问题进行“知识”服务，即运用领域专家的专门知识和推理能力，解决在通常情况下难以处理的问题。

在人工智能领域中，专家系统是很晚才产生的分支。早期，人们致力于研究智能的机理，试图通过研究通用目的的问题来求解系统，但这条研究路线，遇到了极大的困难。后来，人们深入探讨了这样一个问题：人类专家为什么能够较好地解决某些特定领域内的困难问题？原因在于，人具有知识，而人类专家则在那些专门领域内具有丰富的知识，并能根据对象和环境灵活地运用这些知识。人们认识到知识在智能系统中的作用，是人工智能研究中的重大突破，开辟了人工智能研究的新局面。目前许多人工智能的研究，都已从以机理为基础的方向，转移到以知识为基础的方向上来。专家系统技术发展迅速的另一个重要原因是其实用性。有意义的是，建立一个成熟的领域专家系统，比实现一个最简单的思维系统（如小孩学习语言的能力的系统）要容易得多。专家系统的易实现性使这项技术在各个领域中得到了广泛的应用。

知识就是力量。专家系统的力量，来自它自己所具有的知识。知识是决定一个专家系统的性能是否优越的主要因素。

图1-1描述了专家系统的基本结构。这个基本结构是由专家

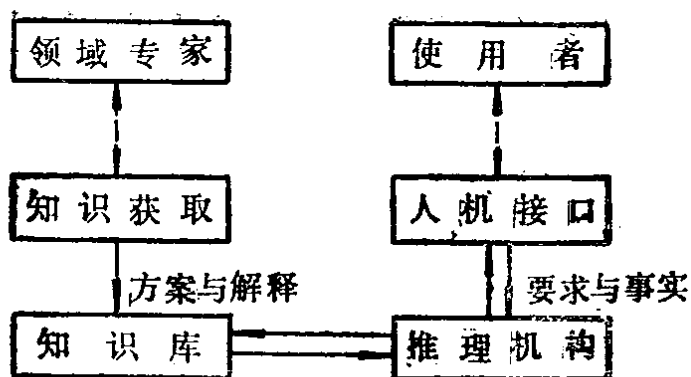


图 1-1

系统的基本任务所决定的。让我们回顾一下机械设计专家进行某项具体设计工作的过程：首先，要研究设计的要求及各种有关的具体事实和数据；然后，进行反复的综合与分析；最后，得到满意的设计方案。在此过程中，专家要充分应用其专门知识，而怎样根据具体情况运用这些知识，又是一个推理演绎的过程。因此，模拟专家解决问题的专家系统具有如图1-1所示的三个组成部分：

（1）知识库部分 知识库储存着丰富的特定领域内的知识，包括书本知识和实践经验。这样，专家系统就可以处理特定范围内的问题；

（2）推理机构部分 推理机构依据使用者提供的事实，按照专家的思维规律进行推理和控制，运用知识的规划，得出解决问题的方案；

（3）人机接口部分（或称为信息输入输出部分） 这部分是使用者与专家系统的接口，能输入使用者的问题和有关信息，输出供使用者参考的方案和有关信息。

这样，建立一个专家系统的活动过程，主要是获取、表示和利用知识的过程，主要包括三个方面的关键技术问题：

第一是知识表示问题。用计算机模拟人类专家的智能，首先必须解决的一个重要问题是，知识在计算机内的表达方式。实质上是需要适当的逻辑结构和数据结构，将某一工作领域的知识表

达清楚，并有效地存贮在计算机的存贮器内。知识表示就是研究如何用合适的形式来表示知识，人工智能的许多技术，如：产生式规则、框架结构、语义网络及符号模式匹配等，为解决这个问题提供了有力的工具。

第二是知识利用问题，即怎样设计推理机构以利用知识去解决具体问题。目前专家系统常用的推理及控制策略，包括正向推理、反向推理、生成-测试控制、手段-目标分析、日程表控制等方式。

第三是知识获取问题。专家系统所需要的专门知识和推理能力已存储在人类专家的头脑里，必须把这些知识提取出来，转化为计算机内代表知识的符号和数据结构。

在知识表示（知识库建设）、知识利用（推理机构设计）和知识获取这三部分工作中，知识获取是最重要的环节，也是最关键和最困难的环节。因为人类专家不仅可从教科书的精辟论述中获得知识，而且还可从实践中获得知识。长期实践中成败的经验使设计人员悟出宝贵的知识——什么时候按常规理论办？什么时候采取特殊措施？这一部分知识对于解决特定领域的问题特别重要，但是也特别难以总结和归纳成计算机程序。

由于知识在专家系统中的决定性作用，所以一般将建立专家系统的工作过程称为知识工程。对于大量知识的处理方法是知识工程研究的中心课题。

建立专家系统的工作往往由两部分人员协作完成：一部分人是某个领域某些特定问题的专家；另一部分人是知识工程师。知识工程师从领域专家处提取知识并用来建立专家系统，其工作如

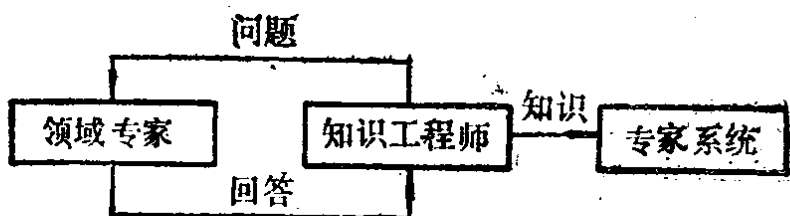


图 1-2

图1-2所示。

二、两个专家系统的实例

(1) “动物识别”专家系统

这是一个示教性的专家系统的简例，借以说明专家系统的工作原理。这个系统能够识别四种动物，图1-3描述了这个“动物识别”专家系统的内在联系。这个简单的系统同样包括如图1-1所示的三大组成部分：知识库、推理机构和人机接口。

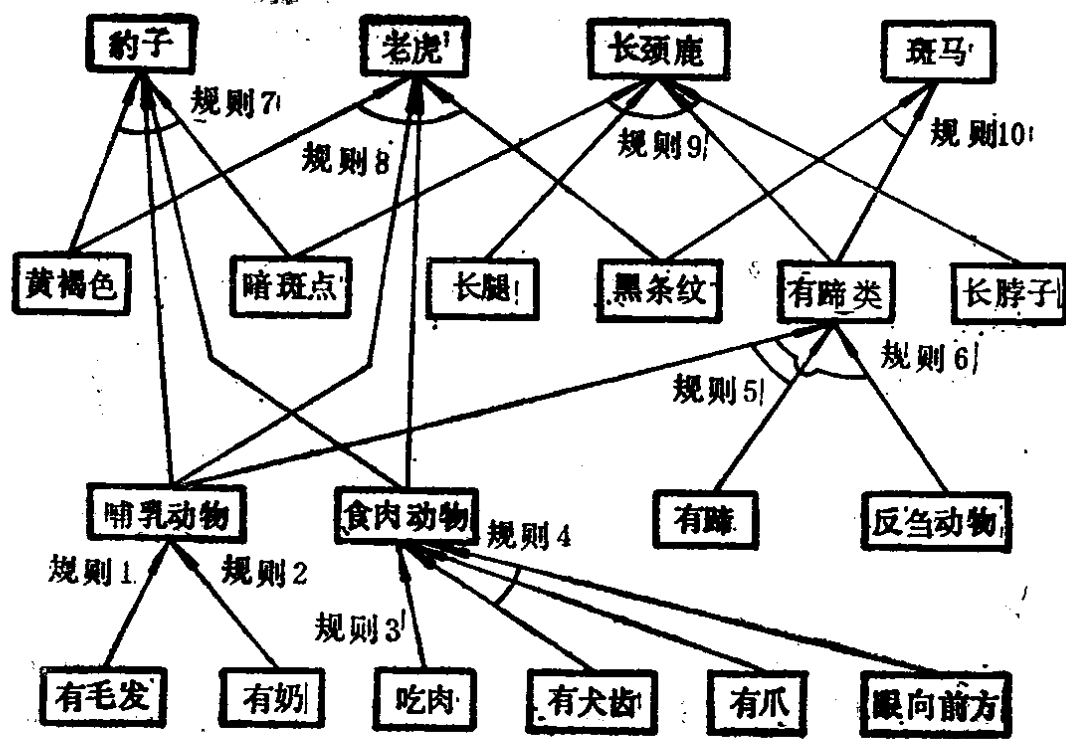


图 1-3

i) 知识库

本例的知识用规则表示。每条规则都由IF-THEN的形式组成。IF代表规则的前提部分，可以是多个条件的逻辑组合；THEN代表规则的结论部分，一般包括若干条结论。例如，本例的第2条规则是：

IF：该动物有奶；

THEN：该动物是哺乳动物。

又如，第9条规则是：

IF：该动物是有蹄类，

且 该动物有暗斑点，
且 该动物有长腿，
且 该动物有长脖子；
THEN：该动物是长颈鹿。

本例的知识库共有十条这样的规则，这些规则的关系如图1-3所示。

ii) 推理机构

本例采用了正向推理的方法。其基本策略为：用户通过人机接口输入一批事实，推理机构用这些事实，依次与知识库中的规则的前提匹配，若某规则的前提全被事实所满足，则规则可以得到运用。规则的结论部分做为新的事实存储起来。然后，用更新过的事实再与其他规则的前提相匹配，直到不再有可匹配的规则为止。例如，当用户要求系统识别某种动物时，他必须向系统提供关于这种动物的一批事实：

该动物有暗斑点、长脖子、长腿、有奶、有蹄。

推理机构用这些事实依次匹配图1-3所示的规则。首先，由于该动物有奶，匹配了规则2，可推断该动物是哺乳动物；接着，用这个新事实及有蹄的事实，匹配了规则5，可确定该动物是有蹄类；最后，由于该动物有暗斑点、长脖子、长腿并属于有蹄类，匹配了规则9，因此得出结论：

该动物是长颈鹿。

iii) 人机接口

专家系统一般都能向用户解释得到结论的理由。由于专家系统的工作机理，这个功能是容易实现的。例如在本例中，用户可以发问：

为什么说该动物是长颈鹿？

系统可以根据推理过程，解释得到结论的理由：

因为该动物有奶，所以是哺乳动物；（规则2）

因为该动物是哺乳动物，且有蹄，所以属于有蹄类；（规则

5)

因为该动物有暗斑点、长脖子、长腿并属于有蹄类，所以是长颈鹿。（规则 9）

（2）MYCIN专家系统

MYCIN是一个在人工智能历史上占有重要地位的实用专家系统，系统的结构和技术都非常典型，可以帮助我们更好地体会专家系统的原理。系统的任务是帮助内科医生为传染性血液病人提供诊断和治疗建议。内科医生向系统输入病人的病史和各项化验数据，然后MYCIN运用系统中的知识进行推理，作出诊断，并就如何用抗菌素治疗疾病向医生提出治疗方案。MYCIN在这个特定的领域内已达到了专家水平。

MYCIN大体上也是由三部分组成：知识库、信息数据库和控制策略集。与图1-1所示的结构相比较，信息数据库即相当于人机接口，控制策略集即相当于推理机构。

i) 知识库

MYCIN也采用规则表示知识。关于传染性血液病的知识被表达成大约500条规则，每条规则都以 IF CH THEN 的形式组成。IF代表规则的前提，THEN代表规则的结论，CH表示前提对结论的支持程度，称为确定性系数。因为，在有关工作领域中，许多关系是模糊的，所以，MYCIN采用了不精确推理的方法，不精确推理是通过确定性系数的引入而实现的。下面是说明MYCIN中的一条规则的实例：

规则050

IF: 感染是原发性菌血症，

且 培养基是一种无菌基，

且 细菌侵入位置是肠胃；

THEN: 细菌本名是涎汗毛菌。

其中，CH=0.7，表示当IF部分三个条件都满足时，结论成立的可能性是70%。

ii) 信息数据库

为了运用上述规则，MYCIN 必须针对具体的病人，获得关于病人的特殊信息。这些信息通过人机接口输入系统，存贮在一个动态数据库内，以“特征-对象-数值”的形式贮存。数据库表示着系统对病人的了解程度。

iii) 控制策略集

这个部分根据专家的思维规律（逻辑推理）对知识进行控制和调节。当某规则被控制系统选用之后，即对总体数据库进行操作。若规则的前提部分得到满足，则触发规则得到应用。规则的应用，又不断形成新的目标和环境，而控制系统则根据目标和环境的变化进一步改造总体数据库。MYCIN 根据特定病人的信息，不断进行推理，执行规则，得出结论，这就是诊断和处方的过程。

在某些情况下，数据库中缺乏进一步的信息，或者只有不太确切的信息，这时，系统提供两种可能的解决方案：一是请使用者通过人机对话的形式提供更多的信息；二是从其他有关数据演绎得出新的信息。

MYCIN 系统还有一个显著的特点：它能够对每步诊断和处方提供有力的根据，具有解释的功能。这个特点使系统易于应用，提高了系统的可靠性。还有一个附带的然而也是重要的好处，就是使 MYCIN 成为对医科学生进行计算机辅助教学的有力工具。

三、专家系统的历史

如前所述，在过去二十年中，人工智能的研究发生了转变，从探索广泛普遍的思维规律转向以知识为中心的专家系统技术。这个转变不是理论推导的结果，而是由于许多成功的专家系统的示范项目起了作用。

最早取得成功的专家系统是 DENDRAL，这是一个根据输入的化学分子式和质量频谱信息来推断化学结构式的专家系

统。从1965年开始，Stanford 大学的一个包括计算机科学、遗传学和化学三个方面专家的多学科小组辛勤工作了多年，完成了DENDRAL系统的研制工作。这个系统知识非常渊博，推理非常有效，它从化学数据推定分子结构的能力达到了理学博士的水平，在某些问题上，还超过了化学专家的水平。这个系统已在世界各地的化学实验室里应用多年，每天为上百个国际用户提供化学结构方面的知识服务。

70年代，研制成功了一批以Stanford大学的“启发式编程规划80”的大规模“知识工程”为代表的实用专家系统，其中，最著名的是MYCIN系统（1977年研制出）和PROSPECTOR系统（1979年研制出）。

前面已经介绍，MYCIN 是诊断和治疗传染性血液病的专家系统。人们组织了一个专家小组考核MYCIN的诊断和治疗技术，MYCIN和几个不同水平的内科医生（包括医学专家和实习医师）进行了现场比赛，MYCIN 的行为被认为达到了血液病专家的水平，并超过了其他非专家的内科医生的水平。

PROSPECTOR 是一个矿藏勘探专家系统，其任务是对地质矿藏数据进行分析和解释，提出勘探矿床的建议。这个系统包含一般的地质学和矿物学的知识，同时也包含某些特殊地区的特定知识。PROSPECTOR 系统具有很高的学术水平和很大的实用价值，它促使了许多矿藏模型得以开发。1982年，一家公司应用这个专家系统在美国华盛顿州发现了一处钼矿，获得了约1亿美元的经济效益。

MIT 大学于70年代研制成功了符号数学专家系统MACSYMA，该系统可以进行微分和积分的符号运算，并擅长简化符号表达式，其水平胜过绝大多数的专家。

Carnegie-Mellon大学于70年代末开发成功的HEARSAY-II 系统是最先能够理解由1000个词汇组成的文章的专家系统。它的技能能够与一个10岁的孩子相匹敌，虽然还没有达到专家的