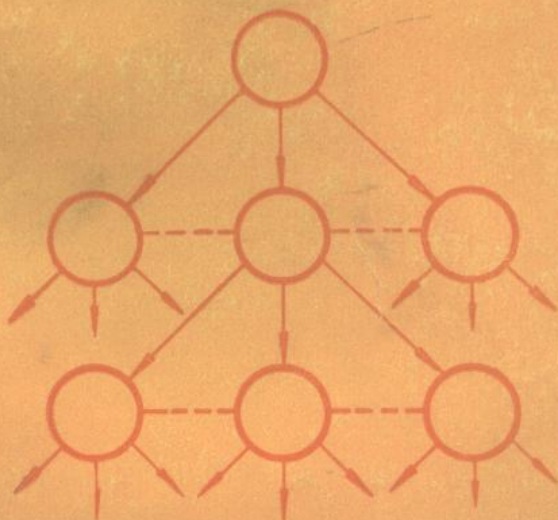




机械故障诊断丛书

人工智能与 诊断专家系统

杨叔子 郑晓军 编



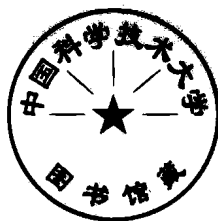
西安交通大学出版社

12

机械故障诊断丛书之十二

人工智能与诊断专家系统

杨叔子 郑晓军 编



西安交通大学出版社

内 容 简 介

本书介绍人工智能与诊断专家系统的一些基本内容,包括人工智能及其发展,专家系统的结构与建造;知识的表示与利用、诊断专家系统及其实例、复杂机电系统诊断专家系统的层次诊断模型以及一个汽车发动机的诊断专家系统。

本书论述全面、通俗易懂,是一本有关诊断专家系统的入门书籍,特别适合于从事诊断专家系统和故障诊断方面研究的工程技术人员和科研人员以及研究生、大学生参考。

E070/01

人工智能与诊断专家系统

杨叔子 郑晓军 编

责任编辑 陆 薇

西安交通大学出版社出版

(西安市咸宁路28号)

西安交通大学出版社印刷厂印装

陕西省新华书店经售

开本787×1092 1/32 印张 5.25 字数: 105千字

1990年6月第1版 1990年6月第1次印刷

印数: 1—4000

ISBN7-5605-0351-9/TH·16 定价: 2.95元

《机械故障诊断丛书》总前言

机械故障诊断技术是有关设备运行、维护的一项新兴技术。它的推广和应用，不但根本改变了原有设备维修制度，而且在保证设备安全运行、消除设备事故方面起着巨大的作用。当前，机械设备的运行维护，已经从单凭直觉的耳听、眼看、手摸发展到采用先进的传感技术、计算机和信息处理技术。新的监测手段，诸如超声、声发射、红外等，层出不穷。人工智能、专家系统、模糊数学一类新兴学科也在机械故障诊断技术中找到了用武之地。

近年来，在国家经委、中国设备管理协会和有关学会的大力支持下，机械故障诊断技术在我国各行业中的推广和应用正在方兴未艾。它已经并将继续在实践中获得巨大的经济效益和社会效益。本丛书的出版就是为适应广大工程技术人员的迫切需要而编写的。同时，也希望这套丛书能引起高等学校机械类专业广大师生和有关研究人员的兴趣。

我们在编写这套丛书时，既注意了它的科学性，又注意它的实用性。丛书保持了一定的理论深度，力求阐明机械故障诊断技术的理论基础，但又使之能为广大实际工作者所接受。对高等学校的师生和研究人员也有参考价值。为了尽量节约读者的精力和时间。丛书中每本就是一个专题编写，字数限制在8万字左右。

由于各类产业机械在运行中既有各自的特点，又有某些

为基础的。此外，即使同一种诊断专家系统也无固定模式。其实，专家系统的精华不在其表，而在其实，一是看系统的编程方式是否能将数据、知识和控制三个层次相分离，二是看是否大量地使用了专家的经验 and 知识，只要符合这两条，就应该说该系统至少是一个专家系统的原型了（当然这个原型是不完备的，需要扩充诸如人机接口、解释以及知识获取等功能子系统）。显然，这里涉及的内容十分广泛并且相当深入了。为此，本书不可能详细地介绍各种诊断系统的具体构造方法，也不试图使读者读后就一定能够加以应用，而只能通过介绍一些基本的概念与知识，其中也包括作者们所进行的部分工作，以便对初学者能起一个引导的作用。

作为本书的作者，我们十分感谢西安交通大学出版社和这一套丛书的主编屈梁生教授为丛书的出版所作出的辛勤劳动和努力。此外，我们还要深深感谢曾为本书的编写提供过大力帮助并参加过一定编写工作的周安法、丁洪、桂修文、欧阳普仁等同志，桂修文同志还参加了本书的定稿工作。

由于作者水平有限，书中难免有欠妥之处，真诚地希望读者提出批评与建议。

杨叔子 郑晓军

1988.12.14.

前 言

专家系统在人工智能诸分支中也许是最为实用和引人注目的了，它的应用范围极为广泛。如果从解决的问题的类型来看，它既有利于分析型决策支持问题，如医疗诊断、故障诊断、法律判决和数据解释等，也可用于设计型决策支持问题，如机械 CAD、大规模集成电路 CAD 和程序自动编制等等。如果从可应用的领域来看，它可用于医学、工程、资源开发、信息处理、军事、经济、法律和生活等各方面。

专家系统在诊断学科中的应用一直是非常热门的，早期的专家系统中有近一半以上是用于医疗诊断的。近几年来，在工程领域内也开始出现了大批诊断专家系统，其中许多已投入实用。与此同时，作为人工智能的应用理论分支，出现了一门崭新的学科——基于知识的诊断推理，它所研究的就是诊断专家系统所涉及的主要理论问题，包括诊断模型、具体诊断方法、诊断系统结构和实现、诊断型知识的获取和学习等问题。从发展的成熟程度来看，诊断专家系统是最为优秀的一种专家系统。同时，工程实践也已表明，许多诊断问题只有采用诊断专家系统才能较好地得到解决或者才能得到解决。

诊断专家系统本身的种类也较多，如果从数据输入的形式来看，就有基于传感器的系统和基于人机对话的咨询系统，这两者实际上是分别以同时性诊断方式和序贯诊断方式

共同点，同时机械故障诊断技术本身又正处于迅速发展的阶段，因此，本丛书在编写中既注意它的广泛性，即着重讨论多个行业中机械设备的共同技术问题，诸如轴承、齿轮、转子、润滑油等的监测与诊断，又注意在内容上具有开拓性，尽量向读者介绍和展示一些诊断方面的新技术、新动向。丛书中有着相当的比重是编写者多年来从事实际工作的总结，加以汇编成册。希望能在我国的生产中进一步得到应用和推广。

丛书本身是作者、编者和读者间的桥梁。当它和广大读者见面之后，作为编者和作者，能得到来自广大读者的反馈信息，使之不断得到改进和提高，是我们衷心的希望。

《机械故障诊断丛书》编辑委员会

1988年6月

目 录

前 言

第一章 人工智能及其发展

- 一 人工智能·····(1)
- 二 人工智能的发展·····(2)
- 三 专家系统及其发展·····(5)

第二章 专家系统的结构与建造

- 一 一般结构·····(15)
- 二 专家系统的理想模型·····(18)
- 三 专家系统的构造条件·····(20)
- 四 专家系统开发工具·····(24)

第三章 知识的表示与利用

- 一 引言·····(36)
- 二 产生式系统·····(38)
- 三 黑板模型·····(44)
- 四 语义网络·····(46)
- 五 框架系统·····(48)
- 六 一阶谓词逻辑·····(51)
- 七 不确定知识的表示和利用·····(59)

第四章 诊断专家系统实例

- 一 专家系统的分类·····(63)
- 二 设备诊断的一般性内容与诊断专家系统·····(64)
- 三 一般机械设备故障诊断系统·····(68)
- 四 涡流机械的故障诊断系统·····(83)

五	透平发电机的在线诊断专家系统.....	(94)
六	一个用于内燃电力机车维修的专家系统...	(103)
七	核反应堆诊断系统 REACTOR	(111)
第五章	复杂系统诊断专家系统的层次诊断模型	
一	引言.....	(121)
二	基本概念.....	(121)
三	复杂诊断问题求解的层次诊断模型.....	(125)
第六章	基于知识的汽车发动机诊断系统	
一	基于知识的诊断系统.....	(130)
二	发动机诊断的某些具体考虑.....	(134)
三	基于知识的发动机诊断系统的描述.....	(139)
参考文献		

第一章 人工智能及其发展

一、人工智能

人工智能主要研究如何应用计算机来模拟人的思维活动,显然,其核心是对大脑的模拟,包括功能模拟及结构模拟。所谓功能模拟,就是不涉及大脑的结构,而直接从大脑的宏观功能出发,采用所谓启发式程序或数理逻辑方法来模拟大脑的功能;所谓结构模拟,就是模拟大脑的神经结构,设计出具有大脑的局部功能的“控制论机器”。前者如计算机下棋、打牌、证明数学定理和专家系统等,后者如感知机、学习机和自诊断机等。

不论采用何种模拟方式,人工智能均能由相应的计算机软件来实现。同一般软件相比,人工智能软件的特点如下:

人工智能软件

- (1)主要是符号推理
- (2)启发式搜索
- (3)控制机构同领域知识分离
- (4)通常易于修改、更新与扩大
- (5)允许出现不正确答案
- (6)通常接受令人满意的答案

一般软件

- (1)主要是数字计算
- (2)算法搜索
- (3)信息同控制集成在一起
- (4)难以修改
- (5)要求正确的答案
- (6)寻找最优解

人工智能的基本研究项目主要是：启发式搜索、知识表达、常识性推理与逻辑、人工智能专用语言与软件开发等。以这些为核心，又产生了各种人工智能领域，例如，专家系统、自然语言理解、计算机视觉、问题求解与规划、机器人、机器翻译和模式识别等，其中以专家系统最为活跃，最为实用。

二、人工智能的发展

1. 孕育形成期（1847年——本世纪50年代末）

1834年英国的查尔斯在制造机械计算机时就想用它下国际象棋。1847年，英国科学家乔治·布尔（George Boole）首先提出了双数值数理逻辑，即布尔代数。他发表的第一篇代数化论文，标题为“关于思维规律的考察”（An investigation on the laws of thoughts），他试图找出思维模拟的机械化规律。

1947年英国的阿兰·图林（Turning）发表了“智能机器”一文；1950年又发表了“计算机与智能”的著名论文。他提出一个检验智能的标准，即把问答各方相互隔开，由人用一台计算机和另外一个人来对话。人提出各种问题由对方回答，如果所提出的问题在一定范围内无法区别答者是人还是机器，则可称这一机器是具有智能的。图林的这个检验标准包含着一个极为重要的概念：不去关心机器是否象真人一样思维，而是从“外部行为”来判断（因为尽管英美等国的科学家在神经元、神经网络方面做了不少研究工作，但要探讨清楚人类智能的本质及其内在规律，还需要走漫长的道路），

这一点今天已得到证明——模仿一个专家解决问题的计算机系统，比实现一个最简单的思维系统，如小孩学习语言的系统，容易得多。

因此，温斯顿(Winston)提出“人工智能就是研究如何使计算机去做原来只有人才能做的、具有智能的工作，人工智能的中心就是研究使计算机更为有用以及构成智能的原理”。

1956年夏季，在美国新罕布什尔(Newhampshire)州达茅斯(Dartmouth)大学举行的一次青年科学工作者的会议上，诞生了人工智能(AI)。

2. 成长发展期(50年代中期到60年代末)

这一时期有以下几件大事：

(1) 1955年，美国工程师塞缪尔(A.M.Samuel)应用第一个启发式程序，在IBM704计算机上编制了一套跳棋程序，使计算机可以向人学习下棋，并能积累经验，自我改进。

(2) 1956年，纽厄尔(A.Newell)、西蒙(H.A.Simon)和肖(J.C.Shaw)合作编制了程序“逻辑理论家”(Logical Theorist)，简称“LT”，用计算机证明了罗素-怀德所著的数学名著《数学原理》中第二章未经证明的52个定理。

(3) 1960年，纽厄尔和西蒙发表了“通用解题程序GP3”(General Problem Solver)，紧接着成功地解决了“机器人规划”中的“猴子摘香蕉问题”。

(4) 1960年，美国麻省理工学院(MIT)的麦卡瑟(MacCarthy)教授研制出可以方便地处理各种符号的表处理用语言LISP。1961年，明斯基(Minsky)发表了“走向人工智

能步骤”的论文。

3. 应用开发时期(60年代后期到现在)

这期间经历了在大学研究室开发实验系统的时代,今天已开始和产业部门实际应用。

1977年,第五届国际人工智能会议上,斯坦福(Stanford)大学的费吉鲍姆(E.A. Feigenbaum)教授作了“人工智能技艺”的报告,提出了“知识工程”的概念,为人工智能的进一步实用化奠定了基础。目前,人工智能在下列领域里发挥着重要作用:

(1) 专家系统(知识库咨询系统)的研制

专家系统的研制工作是以斯坦福大学的“启发式编程规划80”的大规模“知识工程”为代表的。该项目已经建立了一批可以在自动推理、工程设计、化学分析、医疗诊断、地质勘探、遗传工程、军事、教育和商业等领域发挥作用的专家系统。

(2) 自然语言理解

(3) 智能控制

MITRE公司研制的“战术导弹发射规划系统”及“飞机识别系统”,是解决一个复杂问题和自动控制的成功的一例。

(4) 智能机器人

将人工智能的许多技术,如推理、规划决策、模式识别和自然语言理解等综合在一起,建立“人的模型”。

其中,使人工智能走向实用化研究,引人注目的是专家系统。人们一方面在理论上探索新的系统,另一方面努力扩大专家系统的研究领域。1983年8月下旬,在华盛顿举行的

美国人工智能会议期间,通用电气(GE)公司展示了计算机操作的“万能修理机”,它具有一名高级工程师的专门知识和权威,能解决铁道机车修理中的许多问题。正如国外一位著名专家所说的那样“知识工程和专家系统目前正处在这样的阶段,这些技术正在奋力拼搏,以便使自己从一种具有强大潜力的技术新事物变成人类生活不可分割的组成部分”。

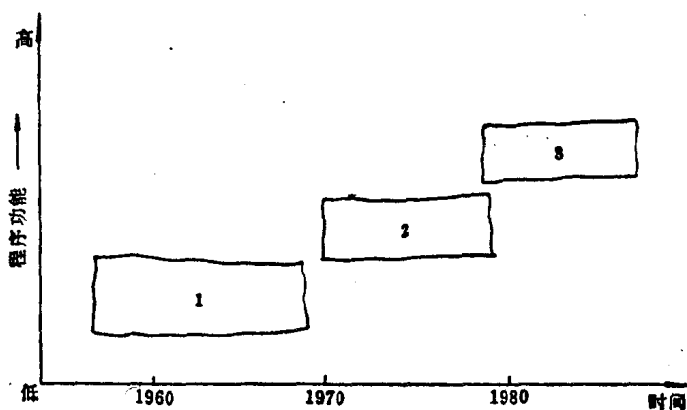
三、专家系统及其发展

1. 简单的历史回顾

导致大量专家系统诞生的计算机革命时代实际上是开始于70年代初期,并伴随着计算机硬件的发展。这种发展导致的计算机价格的暴跌甚至出乎那些最为乐观的科学家们的预测。当计算机硬件专家正致力发展微芯片技术时,计算机软件专家——那些设计和建立控制计算机程序的人们——正为软件领域的突破性进展而辛勤地工作着。但这种突破性进展并不是一种用激光束来编码信息的新方法的发现,也不是一种体积更小、速度更高的微芯片的发展,而是一种概念上的突破性进展,这种进展拓宽了计算机科学中的一个新的研究领域——人工智能(Artificial Intelligence——AI)。

人工智能科学家一直都在致力于研制在某种意义上讲能够思维的计算机软件,也就是能够用一种被认为是智能的方法来解决问题。专家系统是人们为了描述这类程序的本质特征所作的20年探索的结果。图1.1表示了专家系统的历史发展。

在60年代, AI科学家们企图通过找到解决多种不同类



- ① 寻找问题求解的通用方法，并用这些方法开发通用目的程序
- ② 为了改进知识表示与搜索而寻找一些通用方法，并便于用通用方法开发专业化程序
- ③ 使用有关狭窄领域的广泛的、高质量的专门知识来开发非常专业化的知识

图 1.1 专家系统的历史发展

型问题的通用方法来模拟思维的复杂过程，他们将这些方法用于通用目的的程序中。然而，尽管取得了一些有趣的进展，但这种策略没有带来任何突破。研制通用目的的程序简直是太困难了，最终没有取得什么结果。单个程序能处理的问题的类型越多，对任何个别问题的处理能力似乎也就越差。

AI 科学家们努力寻找另外一种方法使得计算机程序智能化。假如使整个程序具有通用性很困难并难以实现的话，可以将注意力转向开发知识表示与搜索等基础性的通用方法或技术。

因此，在 70 年代，他们将注意力集中在某些技术方面，象“表示”（如何表达问题使之更易解决）和“搜索”（如

何巧妙地控制对一个问题的搜索，使之不会花去太多的时间或占用太多的计算机内存)。这种策略再一次取得某些成功，但仍无任何突破性进展。

直到 80 年代初, AI 科学家们才开始认识到问题的关键：一个程序解决问题的能力取决于它所具有的知识量的大小，而并不取决于它所采用的形式和接口流程。这种概念上的突破可简单叙述如下：

为了使一个程序智能化，必须使它关于所要解决的问题领域内的大量高质量的、专业化知识。

这种认识导致了特殊目的的计算机程序的开发，这些程序或系统可以说是某具体问题领域内的专家，它们被称之为“专家系统”，因而一个新的研究领域开始了。

起初，设计和建造一个专家系统，与其说是一次科学研究，倒不如说是一次艺术尝试；然而，现在这种设计和建造过程已比较容易理解和能更清楚地加以描述。

建造一个专家系统的过程通常被称为“知识工程”，它主要包括专家系统的建造者（称为知识工程师）与一个或多个某问题领域内的人类专家之间的特殊交互过程。知识工程师从人类专家那里“获取他们解决问题的过程、策略和主要规则，并将这种知识溶入专家系统中”，如图 1.2 所示。

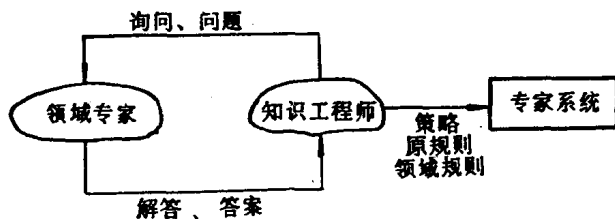


图 1.2 知识工程：专家知识转化为计算机程序

2. 什么是专家系统？

“专家系统”是为了解决具有专家级水平问题的计算机程序系统。它采取一定的策略，具有相当数量的权威性知识，具备学习功能，并且能够运用知识进行推理来解决在通常情况下一般人难以解决的问题。

专家水平的工作意味着主治医师作出诊断和治疗的水平，主任工程师或富有经验的人员从事工程科学或管理工作的水平等等。

提到专家系统，有必要首先回答以下两个问题：

(1) 为什么不利用现实的专家？

为什么要开发专家系统而不象以前那样仅仅利用人类专家呢？这是因为用人工专家知识来处理 and 表示人类的推理过程有其深刻的理由。表 1.1 列出了人工专家知识与人类专家知识相比所具有的一些优点。

表 1.1

人类专家知识	人工专家知识
阶段性的	永久性的
难于传递	易于传递
难于编辑	易于编辑
不可预测	相容的
昂 贵	适 中

(2) 为什么还要使用人类专家？

既然人工专家知识比人类专家知识具有如此多的优点，

• 8 •