

# 人工智能 及其应用

马玉书 主编

- 人工智能
- 专家系统
- 神经网络

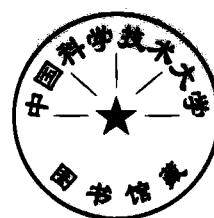


石油大学出版社  
1562.0

# 人工智能及其应用

- 人工智能
- 专家系统
- 神经网络

马玉书 主编



石油大学出版社

## 内 容 提 要

本书全面系统地介绍了人工智能、知识工程与专家系统和人工神经网络的原理、实现技术及其应用。内容丰富、深入浅出,反映了该领域前沿的一些最新研究成果和发展方向。本书具有先进性、实用性和可读性,可作为计算机、信息处理、系统工程和自动化等专业的高年级本科生和研究生学习《人工智能》、《专家系统》和《人工神经网络》课的教材,并可供从事计算机科学研究、开发、应用和教学工作的人员参考。

### 人工智能及其应用

马玉书 主编

\*

石油大学出版社出版发行

(山东省东营市)

新华书店经销

山东东营新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 33.5 印张 852 千字

1998 年 4 月第 1 版 1998 年 4 月第 1 次印刷

印数 1—2000 册

ISBN7-5636-1028-8/TP·63

定价:38.00 元

# 前 言

人工智能(Artificial Intelligence)作为一门研究机器智能和智能机器的高新技术学科,始于60年代初期。它试图用计算机的程序来模拟人的思维和行为,如问题求解、学习、推理、自然语言理解等,以达到理解人类的思维,并能重复思维的过程。

人工智能的研究范畴不只局限于计算机科学和技术,而是一门涉及心理学、认知科学、思维科学、信息科学和系统科学等多个学科领域的综合性技术学科。目前它已在知识处理、专家系统、模式识别、自然语言理解、博弈、自动定理证明、自动程序设计、数据库的智能检索和智能机器人等多个领域取得突破和令人鼓舞的成就,并形成了知识工程、专家系统和人工神经网络等多元化的研究方向。尽管人工智能的发展一开始就充满了艰辛,并走过一段曲折的道路,但人们对这门具有崭新思想和实用价值的跨学科的高新技术的兴趣正与日俱增,具有不同背景和专业的人们,正在从这个年轻的科技领域里发现某些新思想和新方法。近几年来,随着计算机网络、信息高速公路、多媒体、分布式人工智能和开放分布式环境下多智能体(Multi-Agent)协同工作(即CSCW)等计算机主流技术的兴起,人工智能、专家系统、人工神经网络技术已从封闭性、狭窄性逐渐走向开放,其研究再度活跃起来,人们对它的应用寄予了更大的期望。与此同时,人工智能、专家系统、人工神经网络等技术也在不断完善、成熟,并正在向更加成熟的方向发展。

但是,还须清醒地看到,人类对自身的思维规律和智能行为的研究仍处于探索阶段,研究人类智能的机理、用机器模仿人的智能,解决“智能形成”的问题仍是当今全人类正在攻克的四大难题之一,加上计算机等现有技术及条件的限制,实现智能模拟的任务仍是十分复杂和艰巨的。总之,人工智能科技是一门具有广阔前景的年轻学科,任重道远,亟需一批不畏艰险、勇于探索的科技工作者不断去开拓和耕耘,使其根深叶茂,结出更加丰硕的果实。

本书是在《石油高校计算机应用教材编委会》组织下,由多名长期从事人工智能、知识工程、专家系统和人工神经网络教学与科研工作的教师编写。全书分三篇十六章。第一篇为人工智能部分,其中包括:第一章人工智能导论,介绍了人工智能的产生与发展及其研究目标、特点和应用领域,并从人工智能技术的发展高度来讨论该领域中几大学派有关智能本质的争论与理论研究方向;第二章介绍了(传统)人工智能的原理及实现技术与研究方法;第三章阐述了知识工程(知识处理)中所涉及的知识表示、知识获取、机器学习等重要问题;第四章讲述了函数型、逻辑型和面向对象型等三种人工智能语言。第二篇为专家系统及其应用部分,其中包括:第五、六章介绍了专家系统的基本原理及主要的实现技术;第七章剖析了两个典型的专家系统及在石油勘探领域开发的两个专家系统实例;第八章较详细而深入地讨论了专家系统的开发方法与步骤,对获取专家系统知识的方法和专家系统的评价也进行了重点讨论;第九章对专家系统开发工具与环境进行了较全面的介绍,列举了国内外重要开发工具与环境的实例;第十章介绍了专家系统的最新进展。第三篇为“人工神经网络及其应用”部分,其中包括:第十一章神经网络概述,介绍了神经网络的发展历史、研究内容及未来发展趋势,阐明了人工智能与神经网络之间的关系;第十二章介绍了神经网络的有关基础知识及其处理信息的基本原理;第十三章重点讨论了人工神经网络模型及其学习算法;第十四章给出神经网络在石油工业中应用的几

个重要实例；第十五章介绍了基于连接主义和符号主义机制相集成的神经网络专家系统的机理、系统结构和实现技术；最后，在第十六章介绍了神经网络通用软件开发环境与开发工具。全书内容安排由浅入深，深入浅出，具有先进性、实用性、可读性，书中列举了人工智能、神经网络、专家系统在石油工业中的应用实例，介绍了石油工业领域应用人工智能、专家系统和人工神经网络的现状，是石油工业领域中第一本全面介绍人工智能、专家系统、人工神经网络及其应用的著作。该书适合于计算机、信息处理、系统工程、自动化及石油领域有关专业的高年级本科生和研究生学习“人工智能、专家系统、人工神经网络有关技术与应用”的课程需求，并可供从事计算机软件研究、开发、应用和教学工作的人员参考。

本书第一、五、八、九、十一至十六章由马玉书编写，第二章由冷英男编写，第三章由杜友福编写，第六章由王新民编写，第四章由杜友福和王新民合写，第七、十章由王新民和马玉书合写。全书由马玉书统稿并校审，最后由中国科学院计算所史忠植教授主审。

在本书编写的过程中，曾得到有关专家的大力支持，并引用了有关技术资料，在此表示感谢。

由于编者的理论水平和实践经验有限，加之人工智能、知识工程、专家系统和人工神经网络等科技尚在不断完善和发展，因此书中的错误和不妥之处在所难免，恳求读者批评指正。

编著者

1997.5

# 目 录

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| <b>第一篇 人工智能</b> .....        | (1)   |
| <b>第一章 人工智能导论</b> .....      | (1)   |
| 1.1 人工智能及其研究目标 .....         | (1)   |
| 1.2 人工智能的发展历史 .....          | (3)   |
| 1.3 人工智能的基本技术及特点 .....       | (12)  |
| 1.4 人工智能的研究课题及应用领域 .....     | (15)  |
| 1.5 人工智能研究的几大学派 .....        | (24)  |
| 1.6 关于智能本质的争论及理论研究 .....     | (28)  |
| <b>第二章 人工智能原理及实现技术</b> ..... | (36)  |
| 2.1 人工智能的数理逻辑基础 .....        | (36)  |
| 2.2 状态空间 .....               | (45)  |
| 2.3 问题归约 .....               | (49)  |
| 2.4 问题求解及搜索技术 .....          | (54)  |
| 2.5 归结原理 .....               | (74)  |
| 2.6 产生式系统 .....              | (83)  |
| 2.7 问题求解策略 .....             | (90)  |
| <b>第三章 知识及其处理</b> .....      | (95)  |
| 3.1 知识工程概述 .....             | (95)  |
| 3.2 知识及其表示 .....             | (96)  |
| 3.3 知识获取及机器学习 .....          | (110) |
| 3.4 知识库系统 .....              | (127) |
| <b>第四章 人工智能语言</b> .....      | (131) |
| 4.1 传统程序设计语言与人工智能语言 .....    | (131) |
| 4.2 函数型语言 LISP .....         | (132) |
| 4.3 逻辑型语言 Prolog .....       | (149) |
| 4.4 面向对象语言 Smalltalk .....   | (167) |
| 4.5 C++语言 .....              | (183) |
| <b>第二篇 专家系统及其应用</b> .....    | (191) |
| <b>第五章 专家系统的基本原理</b> .....   | (191) |
| 5.1 专家系统 .....               | (191) |
| 5.2 专家系统的组成及体系结构 .....       | (196) |
| 5.3 专家系统实例—动物分类专家系统 .....    | (202) |
| 5.4 专家系统的基本特点 .....          | (210) |
| 5.5 专家系统的分类 .....            | (212) |



|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| <b>第六章 专家系统的实现技术</b> .....     | (217) |
| 6.1 专家系统的推理技术 .....            | (217) |
| 6.2 专家系统的控制策略 .....            | (249) |
| 6.3 专家系统的解释机制 .....            | (256) |
| <b>第七章 典型专家系统剖析</b> .....      | (266) |
| 7.1 MYCIN .....                | (266) |
| 7.2 PROSPECTOR .....           | (285) |
| 7.3 石油勘探开发领域的专家系统 .....        | (305) |
| 7.4 油气资源评价专家系统 PRES .....      | (308) |
| 7.5 测井质量实时监测与评价专家系统 .....      | (314) |
| <b>第八章 专家系统的开发方法</b> .....     | (324) |
| 8.1 专家系统的开发原则 .....            | (324) |
| 8.2 专家系统的开发过程 .....            | (331) |
| 8.3 知识获取方法 .....               | (345) |
| <b>第九章 专家系统开发工具与环境</b> .....   | (356) |
| 9.1 专家系统开发工具与环境 .....          | (356) |
| 9.2 专家系统开发工具与环境的分类 .....       | (360) |
| 9.3 通用程序设计语言 .....             | (361) |
| 9.4 知识工程语言 .....               | (362) |
| 9.5 专家系统辅助工具 .....             | (376) |
| 9.6 专家系统支持工具 .....             | (377) |
| 9.7 专家系统组合开发工具与开发环境 .....      | (380) |
| 9.8 国内专家系统开发工具与环境的实例 .....     | (387) |
| 9.9 专家系统开发工具市场及标准化问题 .....     | (401) |
| <b>第十章 专家系统研究新进展</b> .....     | (405) |
| 10.1 专家系统的脆弱性和局限性.....         | (405) |
| 10.2 推理技术新进展.....              | (407) |
| 10.3 知识自动获取新进展.....            | (411) |
| 10.4 专家系统体系结构的新进展.....         | (420) |
| <b>第三篇 人工神经网络及其应用</b> .....    | (424) |
| <b>第十一章 人工神经网络概述</b> .....     | (424) |
| 11.1 人工神经网络的发展历史.....          | (424) |
| 11.2 人工神经网络研究迅速发展的原因.....      | (427) |
| 11.3 人工神经网络的局限性及发展趋势.....      | (429) |
| <b>第十二章 人工神经网络的基本原理</b> .....  | (432) |
| 12.1 生物神经元的结构.....             | (432) |
| 12.2 人脑神经系统的基本特征.....          | (433) |
| 12.3 形式神经元模型及非线性动力学系统.....     | (436) |
| 12.4 人工神经网络模拟的数学基础与基本结构模式..... | (439) |
| 12.5 人工神经网络互连结构.....           | (441) |

|             |   |              |
|-------------|---|--------------|
| 12.6        | 人工神经网络的学习机理·····                                  | (445)        |
| <b>第十三章</b> | <b>人工神经网络模型及学习算法·····</b>                         | <b>(451)</b> |
| 13.1        | 神经网络模型分类·····                                     | (451)        |
| 13.2        | 感知机模型·····  | (453)        |
| 13.3        | 误差反向传播网络模型·····                                   | (456)        |
| 13.4        | 反馈神经网络(Hopfield、Hamming、BAM)模型·····               | (462)        |
| 13.5        | 随机神经网络(波尔茨曼机、高斯机、柯西机)模型·····                      | (468)        |
| 13.6        | 自适应共振理论 ART 网络模型·····                             | (471)        |
| 13.7        | Kohonen 的自组织特征映射模型·····                           | (473)        |
| 13.8        | 其他新型的神经网络模型·····                                  | (475)        |
| <b>第十四章</b> | <b>人工神经网络在石油工业中的应用·····</b>                       | <b>(481)</b> |
| 14.1        | ANN 用于回归分析·····                                   | (481)        |
| 14.2        | 用 B-P 网络确定泥页岩矿物成分与理化指标的关系·····                    | (482)        |
| 14.3        | 利用 ANN 进行钻头诊断·····                                | (483)        |
| 14.4        | 利用 ANN 求岩石总孔隙度和视颗粒密度·····                         | (484)        |
| 14.5        | 石油勘探 ANN 模式识别技术及 Kohonen 自组织神经网络测井岩相<br>模式识别····· | (487)        |
| 14.6        | 人工神经网络油气储层预测·····                                 | (491)        |
| <b>第十五章</b> | <b>人工神经网络专家系统·····</b>                            | <b>(497)</b> |
| 15.1        | 神经网络专家系统及其发展·····                                 | (497)        |
| 15.2        | 专家系统与神经网络的互补性·····                                | (497)        |
| 15.3        | 神经网络专家系统的基本原理·····                                | (501)        |
| 15.4        | 动物分类神经网络专家系统·····                                 | (509)        |
| 15.5        | 油气储层预测人工神经网络专家系统·····                             | (511)        |
| <b>第十六章</b> | <b>神经网络软件开发环境与工具·····</b>                         | <b>(514)</b> |
| 16.1        | 神经网络软件及其开发·····                                   | (514)        |
| 16.2        | 通用神经网络软件开发环境与工具·····                              | (515)        |
| 16.3        | 神经网络描述语言·····                                     | (516)        |
| 16.4        | 神经网络软件开发环境实例·····                                 | (516)        |
| <b>参考文献</b> | ·····   | <b>(523)</b> |



# 第一篇 人工智能

人工智能作为一门研究机器智能和智能机器的新兴的综合性高科技学科,旨在研究如何利用计算机等现代工具设计一种系统来模仿人类的智能行为。《人工智能》篇作为本书的第一部分,我们将在第一章——人工智能导论中,引述和阐明人工智能的研究目标、发展历史、基本技术及特点、研究课题和应用领域,在本章中,用了较大篇幅介绍了在人工智能的研究和发展中形成的几大学派,以及他们对智能本质的争论及理论研究。第二章重点介绍了经典(传统)人工智能的原理及实现技术,包括状态空间、问题归纳、问题求解及搜索技术、归结原理、产生式系统和问题求解策略。对没有人工智能和相应数学基础的读者,在本章还安排了〈人工智能的数理逻辑基础〉一节,供初学者参考。第三章——知识及其处理介绍了知识工程与知识处理的概述,内容涉及知识表示、知识供取及机器学习、知识库系统等。第四章——人工智能语言,分别介绍了函数型(LISP)、逻辑型(Prolog)和面向对象型(Smalltalk 和 C++)等三种人工智能语言,并列出了它们在开发人工智能、专家系统软件方面的应用。

## 第一章 人工智能导论

人工智能是一门神秘莫测、前景诱人、十分激动人心的新兴高科技学科,在其发展道路上又充满无数艰辛和曲折。基于以上认识,本书打破了一般教材中对绪论一章的编写较为简洁的惯例,而用了较大的篇幅详尽介绍了人工智能的研究目标、人工智能技术的特点、人工智能的曲折发展历史和人工智能的不同的研究领域,并针对当前社会各界对人工智能、专家系统、神经网络等存在不同的看法、疑虑,在导论这一章中详尽阐明了人工智能不同发展时期所形成的思想、研究途径和实现方法,指出在不同专业领域及研究背景下所形成的不同人工智能学派及其争论焦点,综述了当前人工智能界对智能本质的探讨及人工智能理论的研究方向。所有这些,目的在于向读者展示处于不断发展中的人工智能科技的全貌,了解人工智能不同学派的研究途径和当今人工智能研究中的多元化发展趋势。

### 1.1 人工智能及其研究目标

人工智能 AI(Artificial Intelligence)是一门研究机器智能和智能机器的新兴的综合性很强的高技术学科;是模拟、延伸和扩展人类的智能,实现某些脑力劳动自动化的技术基础;是开拓计算机的新应用领域、研究新一代计算机的前沿阵地;是探索人脑奥秘科学的重要分支和计算机应用的一个广阔新领域,它同原子能和空间技术一起,被誉为本世纪的三大尖端科技。

人工智能的近期目标是研究如何使现有的计算机更“聪明”,即如何使计算机去做目前只有人脑才能做的那些事情,诸如推理、思考、分析、决策、预测、理解、规划、设计和学习等各种高级思维活动。

人工智能的长远目标是研究人类智能的根本机理,即研究如何用各种自动机或智能机去

模拟人的某些思维过程和智能行为,从而揭示人类思维的奥秘。

什么是智能?什么是人工智能?人工智能与人的智能有什么区别和联系?这些都是广大科技工作者十分感兴趣并值得深入探索和进一步解决的问题;也是学术界长期争论不休而又没有完全定论的问题。由于人类智能涉及信息描述和信息处理的复杂过程,用机器去模拟人类的思维规律和智能行为是相当困难的,因而实现人工智能是一项十分艰巨的任务。尽管 AI 的发展从一开始就经历了无数的艰辛,并走过了一条极其曲折的道路,但人们对这门具有崭新思想和实用价值的跨学科的高技术的兴趣正与日俱增。具有不同背景和专业的人们,正在从这个年轻的科技领域里发现某些新思想和新方法。目前,人工智能的发展受到国内外科技界的重视与关注,对它的应用寄予了很大的希望,而且一直受到世界上许多发达国家的高度重视。美国早期的星球大战,欧洲的尤里卡计划,日本的第五代、第六代计算机研究计划,英国的神经计算机、生物计算机研究计划等都把人工智能作为重要的研究内容。我国的 863 高科技计划,也将人工智能及人工智能计算机列为重要的研究课题,并力争在这一高科技领域取得突破性进展,占领一席之地。

目前,无论在国内,还是在国外,人工智能的研究仍然十分活跃,并在许多领域不断取得进展,但也存在着许多问题和困难,各种智能系统或知识库系统真正达到预期水平,付诸实用的比例还不高,整个学科的基础理论研究没有取得突破性的进展。事实上,人工智能从它孕育的时候起,曾几起几落,不断引起人们的争论,并因此形成不同的学派。在批评者中有计算机专家,有哲学家,也有一般的科技工作者和工程技术人员。然而,多年来人工智能正是在不断的争论和克服所遇到的困难及挫折中不断发展起来,开辟出一条新路。其实,这些争论反而说明了人工智能这门学科的生命力和它对人类社会所产生的巨大影响与鼓舞。从计算机处理对象的变化,可以看出计算机已经走过了三个阶段。第一阶段,计算机面对的是数字,这一阶段对计算机的要求是大容量、高速度;第二阶段,计算机面对的是数据,而且往往不是单个的数据,而是多个相关的数据库,因此需要计算机网络来面对这些大型数据库;第三阶段,计算机面对的是知识,只有智能计算机才能有效地处理知识。因此,人工智能的研究在目前这个阶段就是不可避免的了。

人工智能的出现不是偶然的。从思想基础上讲,它是人们长期以来探索研制能进行计算、推理和其他思维活动的智能机器的必然结果;从理论上讲,它是控制论、信息论、系统工程论、计算机科学、神经生理学、心理学、认知科学、数学和哲学等多种科学相互渗透的结果;从物质技术基础上讲,它是电子数字计算机的出现和广泛应用的结果。由于人工智能还是一门正在不断发展,具有不成熟性的年轻学科,当前它正处于全面探索、积累经验的阶段。虽然近几年先后总结出一些基本原理和方法,但远未形成自己的完整的理论体系。如果用成熟的学科标准来衡量,人工智能还具有不完备性、不确定性、多学派性和不协调性等等。这表明在人工智能的研究途径上,还有着无数的奥秘正等待着人们去探索。要预言人工智能的成功和失败还为时过早,在这里用美国人工智能著名学者、世界上第一个专家系统的研制者及知识工程的创始人—E·费根鲍姆的话来结束本小节的讨论:“能推理的动物已经(也许是不可避免的)制成了能推理的机器。尽管这样一种大胆的(有些人说是鲁莽的)投资有着明显的风险,无论如何我们已经开始干了……,阴影不管多么黑,有多么险恶,我们切不可被吓住而不敢走向光明”。

## 1.2 人工智能的发展历史

人工智能(AI)的产生和发展过程大致经历了以下几个时期:即史前期、普适理论期、“个性”设计期和综合集成发展期。以下对其分别介绍:

### 1.2.1. AI 的史前期(1847 年—1956 年)

又称为 AI 的孕育期或萌芽期。AI 的研究与对人的思维的研究密切相关,同时它也与其它许多科学关系密切。因此,研究 AI 的发展历史,不能只从这门学科本身形成的时间算起,而上溯千百年,追溯科学发展史上一些伟大的科学家、思想家和广大劳动人民对此所作的贡献。

经典物理学的形成和蒸气机、电力的诞生,使人类经历了第一次科学和产业革命。人们以轻微的体力劳动或按动开关操纵机器,便可搬动沉重的庞然大物,那时人们把机器、动力的出现作为人类体力劳动的放大。但很早以来,人们就盼望能发明一种工具或机器(称为自动机或智能机)来代替人们的脑力劳动,让人类的智力活动由机器来实现、由机器来放大(图 1-1)。

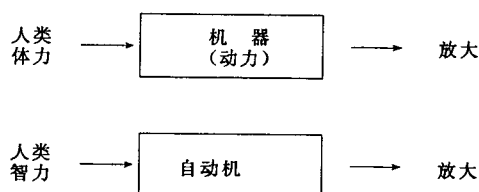


图 1-1 体力及智力的放大

长期以来,许多数学家、哲学家、物理学家、神经生理学家,都在为研究这样的自动机而努力,并进行了大量的研究工作。

早在公元 850 年,古希腊就有制造机器人帮助人们劳动的神话传说。在我国公元前 900 多年,也有歌舞机器人流传的记载。许多国家的民间传说和神话故事都反映了人们的各种美好愿望,它说明远在古代,人们就有了 AI 的幻想。

在近代史上,关于研究人的思维规律,制造可完成计算、推理和其它智能行为的机器的记载更是不胜枚举。

其实,对以人的思维规律为主的 AI 研究及其所产生的思想由来已久,而且历史上许多伟大的科学家、思想家都为此作出过杰出的贡献,是他们的创造精神和留下的知识财富为今天的 AI 研究作了长足和充分的准备,他们的功绩,将载入 AI 研究的史册。以下给出一些著名的科学家在这方面所进行的开创性工作。他们不仅是在人类科学史上作出贡献的伟大科学家、思想家,而且不愧是 AI 研究的先驱。

● 亚里斯多德(Aristotle, 384 — 322), 古希腊伟大的哲学家、思想家,柏拉图(Plato)的学生。他创立的演绎法为形式逻辑奠定了基础。他最早给出了形式逻辑的一些基本规律(如矛盾律、排中律),详细研究了概念,考虑了概念的分类及概念之间的关系。其代表著有工具论、三段论法。形式逻辑至今仍成为一切推理活动的最基本的出发点。因此,亚氏作为研究人类思维规律的鼻祖,对 AI 思想的创立具有重大贡献。

● 罗门·卢罗(Romen Luce, 12 世纪末至 13 世纪初), 西班牙神学家和逻辑学家。他最早提出了制造可以解决各种问题的通用逻辑机的思想和机制。

● 培根(Bacon,1561—1626),英国哲学家和自然科学家。其代表著“新工具”与亚氏的“演绎法”相辅相成,而作为思维的基本法规。培根的另一功绩是强调了知识的作用。“知识就是力量”这一名言,就是他提出的。

● 莱布尼茨(G. W. Leibnitz,1646—1716),德国数学家和哲学家,他与牛顿并列为微积分的发明者,他还改进了Pascal计算器。在AI研究中的主要贡献是他提出了数理逻辑的思想。他把形式逻辑符号化,从而能对人的思维进行运算和推理。他提出建立一个通用符号语言系统的计划,以及一种可在符号语言上进行推理的运算,后来数理逻辑的产生和发展,基本上走了他的道路。莱氏还提出了“万能符号”和“推理计算”的思想,这是现代“思维”机器设计思想的萌芽,莱氏的上述贡献,被后人尊称为数理逻辑的第一个奠基人。

● 帕斯卡(B. Pascal,1623—1662),17世纪法国的物理学家和数学家,他制造成功了世界上第一台机械式加法器,这对后来计算机领域中的许多发明都有影响。

● 布尔(G. Boole,1815—1864),英国数学家,在其《思维法则》著作中,首次用符号语言描述了思维活动中推理的基本法则,实现了莱氏的理想,并创立了逻辑代数—布尔代数(双数值数理逻辑)。1854年布尔在其发表的论文“An Investigation on the Law of Thoughts”(对思维规律的探讨)中,试图找出思维模拟的机械化规律,并明确提出符号逻辑代数是基于“机器是否放大智力”(而不是对“体力被机器放大”)的探讨。可见,早在计算机诞生之前,人们所关注的是研制自动机一类的“智能机器”,而不是当今的计算机。布尔代数今天不仅在逻辑学中,而且在概率论、信息论、几何学中都十分重要。

● 巴贝奇(C. Babage,1791—1871),英国数学家和发明家,毕生致力于差分机和分析机的研究,为研制“思维机器”作出了巨大的贡献。他创造的机械装置包括了数字计算机的大部分基本特点(寄存器、数字处理器、穿孔卡片等)。其设计思想与现代电子数字计算机十分相似。但受当时条件限制,这种机器未能研制成功,最后抱憾死去。他的超人思想也一并被埋进了坟墓,致使100年后科学家不得不重蹈他的覆辙,成为科学史上的一大憾事。巴贝奇被誉为研究“思维”机器的先驱。

● 图灵(A. M. Turing,1912—1954),英国数学家,图灵机的发明者,是现代电子计算机的创始人和本世纪最伟大的从事思维机器研究的科学家。由于他为现代人工智能进行了大量开拓性的工作,以及他为未来智能机的研究作出了重大的贡献,被誉为超时代的奇才、人工智能之父。早在1936年,年仅24岁的图灵,在其发明的含有图灵设想的论文中,就提出了理论计算机模型(即图灵机),创立了自动机理论,推进了“思维”机器的研究和计算机理论的发展。1945年他在为英国ACE计算机提出的一份长达50页的设计说明书中,进一步阐述了其电子数字计算机的设计思想,遗憾的是当时这些超人的见解大部分未被采纳,也未公布于世。直到1949年英国计算机学报才透露称,图灵1945年计算机设计思想中的21种特点已有15种(如变址寄存器、微程序设计、虚拟存储器、变指令系统等)由别人重新提出,并在机器上实现。1950年图灵在Mind杂志上发表《Computing Machinery and Intelligence(计算机与智能)》的文章中提出:“依据布尔规律与图灵结构建立了高速计算机之后,使人们认识到利用它的高速操作与记忆能力已有了可能”,从而提出了“智能”的定义和思想。1950年图灵又在“计算机能思维吗?”一文中明确提出了“机器能思维”的观点,并提出和设计了一种能测试机器智能的实验(被称为著名的“图灵实验”):让人和计算机分处两个不同的房间内,并互相对话。如果作为人的一方不能判断对方是人还是计算机,则那台计算机就达到了人的智能(图1-2)。图灵所提出的这个检验智能的标准,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

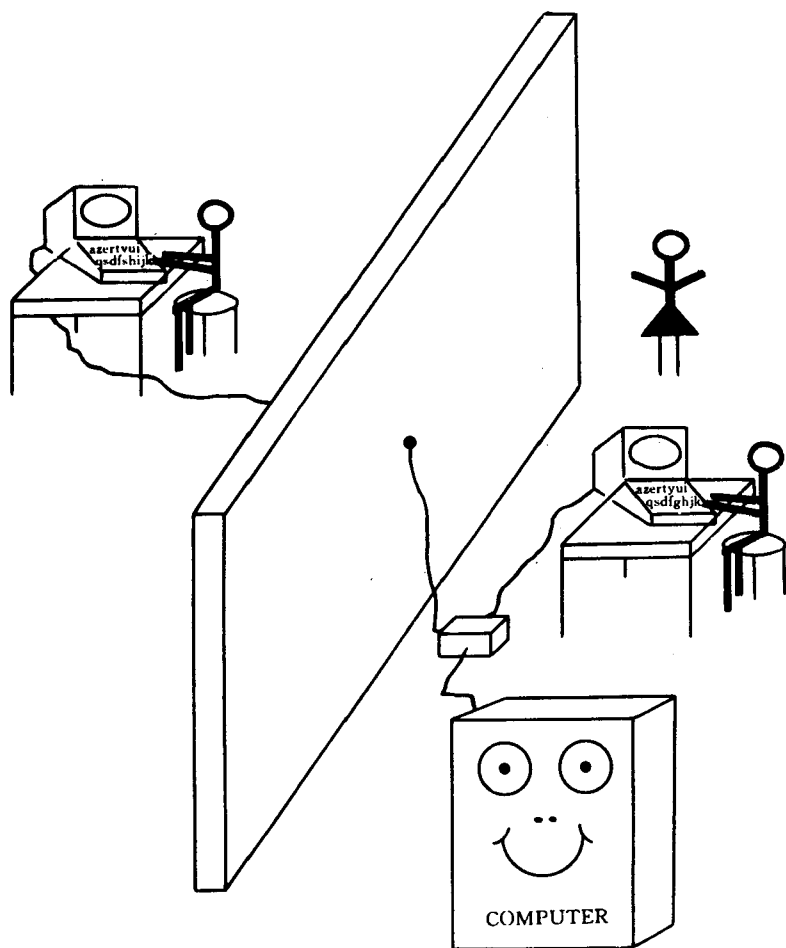


图 1-2 图灵实验

是从“外部行为”来判断,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)要容易得多。美国计算机协会为纪念图灵在计算机科学发展上的突出贡献,设立了国际性计算机界的最高奖——图灵奖,每年颁发一次,授予在计算机科学理论研究方面做出重大贡献的人。

● 冯·诺依曼(John Von Neumann,1903—1957),匈牙利数学家,是代数论、集合论、量子力学、博弈论的创立者。在计算机领域,无论在理论上还是设计上,他更是建立了不朽的功绩。冯·诺依曼的思想被誉为电子计算机时代的开始,并使目前0与1的二进制逻辑、顺序串行处理的冯·诺依曼电子计算机占据当前计算机的统治地位。

● 毛克利(J. W. Mauchly,1907—1980),美国数学家,电子数字计算机的先驱。他与其研究生埃克特(J. P. Eckert)合作,研制成功了世界上第一台通用电子计算机 ENIAC,开创了人类进入信息时代的新纪元。

● 维纳(N. Wiener,1874—1956),本世纪最著名的一位美国数学家,控制论的创始人。控制论向人工智能渗透,形成了今天行为主义的人工智能学派。

● 香农(C. E. Shannon,1916— ),美国应用数学家、信息论的创始人。他将逻辑代数用电路实现,在其出版的《通信的数学理论》一书中,首次规定用二进制位作为通用信息单位,奠

定了二进制位在计算中取代十进制的基础,是计算机发展史上的一个里程碑。香农的信息论曾对心理学产生了很大的影响,而心理学又是人工智能的重要研究方法之一。他认为人的心理活动可以采用信息的形式加以研究,并提出描述心理活动的数学模型。后来,香农又于1956年与麦卡锡一起主编《自动机研究》一书,汇编了有关“思维”机器研究的多篇论文。香农也被誉为人工智能研究方面的先驱。

● 贝塔朗菲,美籍奥地利生物学家,系统论的创建者。系统论是人工智能的交叉学科,对实现综合集成技术、解决非确定性复杂性问题、研究复杂巨系统具有重大理论意义和实用价值。

● 麦克古罗斯(McCulloch),美国神经生理学家,他和皮特(Pitts)一起在1943年建成了第一个神经网络模型。他们认为这个网络由许多神经元组成,神经元的状态和神经元之间的联系都采用抑制——兴奋(即0-1)方式,通过神经网络执行着高级神经活动功能。1950年Kleene把麦氏的神经网络模型抽象为有限自动机理论。麦氏和皮特的理论开创了用微观人工智能(即用模拟人脑的方法)来实现智能的研究途径。

● 麦卡锡(John McCarthy,1927— ),美国数学家、计算机家,AI早期的研究者,第一个AI语言——LISP语言的创造者。他和其他学者联合发起在美国的达特蒙斯召开的有关思维规律探讨和用计算机模拟人类智能的研讨会,该会议正式标志人工智能学科的诞生,麦卡锡也因其AI研究中的突出贡献而被誉为美国人工智能之父。

以上介绍了在人工智能诞生前的AI史前期,世界上一部分著名的科学家在AI方面的开创性工作及其在AI基础研究方面所作的贡献。本阶段的主要成就是创立数理逻辑、自动机理论、控制论、信息论和系统论,并发明了通用电子数字计算机。这些成就为AI的诞生准备了充足的思想、理论和物质技术条件。

### 1.2.2 AI普适理论时期(1956—1975年)

又称为推理期。这个时期的标志是1956年的达特蒙斯会议。

为了使计算机更好地发挥作用,让计算机变得更加“聪明”,或者说,要给电子计算机增加智能,1956年夏季,由四位年轻的科学家——麦卡锡(J. McCarthy,斯坦福大学的数学家、计算机专家)、明斯基(M. L. Minsky,哈佛大学数学家、神经学家)、香农(C. E. Shannon,贝尔实验室信息部数学研究员)和罗切斯特(N. Lochester,IBM公司信息研究中心负责人)共同发起,并邀请IBM公司的莫尔(T. More)和塞缪尔(A. L. Samuel)、麻省理工学院的塞尔夫利奇(O. Selfridge)和索罗蒙夫(R. Socomonff)以及兰德公司(RAND)和卡内基(Carnegie)工科大学的纽厄尔(A. Newell)和西蒙(H. A. Simon)等人参与(这10位都是在美国从事数学、神经学、心理学、信息科学和计算机科学研究的杰出的年轻科学家),聚集在达特蒙斯(Dartmouth)大学举行了历时达两个月的夏季学术研讨班,在一起共同学习和探讨了用机器模拟人类智能行为的各方面的问题和特征,并在会上第一次正式使用了“人工智能 AI(Artificial Intelligence)”这一术语。这个著名的达特蒙斯会议,标志着以研究如何使计算机更“聪明”的研究人类智能基本机理为目标的新兴学科——人工智能(AI)的诞生,从而开创了AI的研究方向。在这次会议之后,在美国相继建立了三个以AI为目标的研究组织,并随后使AI的研究逐渐发展到世界其它各国。尽管关于思维规律的探讨和用计算机来模拟思维活动的研究和实验,还可以追溯到很早,但人们普遍认为这次会议是AI研究的起点。

初期,人们企图用电子线路模拟神经元和人脑,但由于当时的技术条件的限制,这方面的

尝试遭到失败,使人们从一开始就不得不放弃 AI 连接主义研究的探索道路。

自达特蒙斯的第一次 AI 会议之后,以及在那以后的 10 年期间,AI 研究很快在定理证明、问题求解、博弈等关键领域取得重大突破,AI 作为一门新兴学科受到世人的注目,以下为本时期一些著名的成果:

● 1957—1967 年,美国的纽厄尔、肖(J. Shaw)和西蒙研制了一个名为逻辑理论机(Logic Theory Machine)的程序系统(简称 LT)。该程序模拟了人用数理逻辑证明定理时的思维规律。从而,第一次在计算机程序中使用了人类在求解问题时常采用的启发式方法。LT 程序可以自己规划求解问题的步骤。通常,只要事先在机器中存入一组公理,并制定一组推理规则,LT 程序就可采用启发式试探方法来求解问题。纽厄尔等人利用 LT 程序证明怀特海(A. N. Whitehead)和罗素(B. A. W. Russel)的历史名著《数学原理》第二章中未经证明的 52 条定理。LT 程序被认为是用计算机对人的高级思维活动进行研究的第一个重大成果,曾被 AI 学者视为 AI 研究的真正开端。

随后,西蒙在心理学研究中,发现启发式信息对人类思维活动的重要作用。这为 AI 的心理学研究途径进行了开创性的工作。西蒙后来将这一原理应用于经济决策,取得重大效果,并为此在 1976 年获诺贝尔经济学奖。

● 1957 年开始,纽厄尔、肖和西蒙等人,为改进 LT 程序,又开始研究一种不依赖具体领域的通用解题程序。他们在通过心理学实验的基础上,发现人在解题时其思维活动过程具有普遍的规律,并总结归纳出适于任何问题求解的三个步骤:

- ① 首先想出大致的解题计划;
- ② 根据记忆中的公理、定理和解题规划,按计划实施解题过程;
- ③ 在实施解题的过程中不断进行方法和目的的分析,不断修订解题计划。

纽厄尔等人认为以上为一具有普遍意义的思维活动的过程,其中最重要的是方法和目的的分析。基于这一发现,他们采用了适于目标问题求解的后向链推理方法,研制了通用问题求解 GPS(General Problem Solving)程序。该程序在当时已被成功地用于解决斯坦福研究院的机器人规划中的“猴子摘香蕉问题”等 10 多种不同类型的课题,使启发式程序的应用有了较大的普遍性。GPS 的贡献是第一次将知识表示理论化。纽厄尔等人认为规划是知识表示的重要手段。这意味着:推理将在问题求解中起核心作用,而在推理中所存在的搜索过程是启发式的。基于这种理论框架,可以把表示、推理及搜索作为数字计算机上表现智能行为的三要素。纽厄尔等人在 GPS 方面的工作,曾深刻地影响了整个 AI 研究的进程。

● 1956 年,美国 IBM 公司的工程师塞缪尔(A. M. Samuel)在 IBM704 计算机上研制成功具有自学习、自组织和自适应能力的西洋跳棋程序。它和 LT 程序一样,都是最早在计算机上运行的启发式程序,被认为是 AI 研究上的重大突破。该跳棋程序可以像一位优秀棋手那样具有深谋远虑,能向前看几步后再走棋,可以向别人学习或自己积累下棋经验,还可以学习棋谱。通过不断学习,该程序于 1959 年击败了设计者本人,1962 年又击败了州冠军。塞缪尔下棋程序是模拟人类学习过程的一次卓有成效的探索,其主要贡献在于发现了启发式搜索是表现智能行为的最基本的机制,它对传统 AI 的发展具有重大意义。

● 与 GPS 和跳棋程序研究工作并行发展的是一些解数学难题的 AI 程序。1961 年 J. Slagle 设计出符号自动积分程序 SAINT (Symbolic Automatic INTEgrator),它可解决难度较大的不定积分问题。1963 年 Slagle 曾用 86 个不定积分问题测试 SAINT 的性能(其中 54 个选自麻省理工学院大学考题),SAINT 求解了 84 个,其中难度最大的是:



$\int \sec^2 x / (1 + \sec^2 x - 3 \operatorname{tg} x) dx$ 。SAINT 解题平均时间为 2 分钟,其求解不定积分的能力达到麻省理工学院优等生水平。

1967 年, Mosis 又研究成 SIN 程序,其效率比 SAINT 提高三倍。以后 Ritch 通过解决超越函数的积分问题,使 SIN 成为一个相当完备的积分系统,如果说 SAINT 已具备一个大学生的能力,则 SIN 已达到一个专家的水平。

● 1956 鲁宾逊(Robinson)独辟蹊径,提出了与传统自然演绎完全不同的归结法(Resolution),当时被公认是在 AI 领域中的一项重大突破。鲁宾逊的归结原理曾一度极大地鼓舞了 AI 研究者的热情,并掀起了研究计算机定理证明的又一次高潮。后来,王湘浩对归结做了改进,提出广义归结法。鲁宾逊的工作是基于 30 年代 Herbrand 证明的一个定理:“一个命题是对的,一定存在一个过程可在有限步内证明它是对的”。这项工作在当时是非常轰动的,它使人们看到对人类最高的智能活动之一——数学定理自动证明的希望。但对 AI 来说,其主要贡献在于对推理的深入研究,而当研究者认识到这项工作将受到计算复杂性的限制时,却产生了一个认识人类智能本质的机会,即人类智能与复杂性相关,而对具有 NP 复杂性的问题求解,恰恰是人类智能的表现,从而间接证明了西蒙基于心理实验的正确性。

● 1960 年被誉为美国 AI 之父的麦卡锡创建了表处理语言 LISP,它不仅能处理数值,而且可以更方便地处理符号;在 AI 的各个领域都得到广泛应用,而被称为 AI 语言。LISP 语言产生的重要意义是将 AI 的研究与符号处理的研究联系在一起,使符号成为表现智能行为的载体。早期的 AI 程序大部分都是用 LISP 语言写成的,它武装了一代 AI 科学家,为实现 AI 技术提供了可靠的工具,而且直到现在,它仍为 AI 工作者所采用。

● 1961 年明斯基发表了题为《走向人工智能的步骤》的论文,对当时 AI 的研究起了推动作用。

● 1972 年,法国马赛大学的科麦瑞尔(A. Colmerauer)在 Horn 子句的基础上提出基于一阶谓词逻辑的程序设计语言 Prolog。该语言一开始并不被人们重视,后经柯瓦斯基(R. A. Kowalski)等人改进,才逐渐被人承认,而成为继 LISP 之后的另一种重要的 AI 语言,并被作为后来日本第五代计算机的核心语言。

● 1969 年由国际上许多学术团体共同发起,成立了国际 AI 联合会议(IJCAI),它决定从 1969 年开始每两年召开一次会议,宣读论文,讨论和交流研究成果,探讨 AI 的研究方向。1970 年国际性 AI 专业杂志《Artificial Intelligence》创刊,它作为 IJCAI 主办的双月刊物,刊登欧美日等先进国家有关 AI 理论及技术研究方面的论文和成果。

综上所述, AI 普适理论时期的重大事件是人工智能作为一个学科的正式诞生。本阶段的成果是确立了 AI 以数字计算机作为智能行为的支撑体,并以符号处理作为表现智能行为的载体,从而开始了人类以探索思维规律为主的基于物理学的还原论作指导的 AI 符号主义的发展道路,并以此作为智能行为的基本规律的研究方向,促使了现代人工智能的正式诞生。虽然本阶段研制出的几个能表现出智能的程序系统没有直接给人类带来多大的财富,但它在 AI 的理论和实现方法的研究(如问题求解、推理方法和搜索策略等)方面所取得的进展,却使人受到鼓舞,并为以后 AI 的理论及技术的进一步成熟、发展和实用,做好了思想上和物质上的准备。美国作为 AI 的发源地,在这一时期造就了纽厄尔、西蒙、麦卡锡和明斯基等一批杰出的 AI 专家,他们作为 AI 的奠基人分别在思维模拟、数理逻辑的启发式程序方面作出了巨大的贡献。在欧洲, AI 的先驱有英国爱丁堡大学的米切依(D. Michie)和梅特泽尔(B. Meltzer)等。 AI

的出现,立即引起了世界各国对智能根本机理的研究,并在问题求解、自动定理证明、自动程序设计、博弈、景物分析、模式识别、自然语言理解和机器翻译等各相关领域进行深入的研究,并取得一定的进展。

### 1.2.3 AI的“个性”设计时期(1975~80年代末)

又称为AI的应用开发期或知识工程—专家系统时代。

自AI普适理论研究时期以来,AI研究上一连串的胜利,曾一度使人们兴奋起来,醉心于AI前景的专家们以为依靠一些推理定律,加上强大的计算机,就可以使机器产生智能,达到专家的水平 and 超人的能力。因此,他们对AI的能力讲了一些“大话”,并作出了种种盲目乐观的预言。1958年厄维尔和西蒙充满自信地说:“不出10年,计算机将成为世界象棋冠军;不出10年,计算机将要发明和证明重要的数学定理;不出10年,计算机将能谱写具有优秀作曲家水平的乐曲;不出10年,大多数心理学理论将在计算机上形成……。”有人还预言:“照此趋势下去,90年代将是全面实现AI的年代,到了2000年,机器的智能就可以超过人。”

然而,“成功与失败、顺利与挫折总是相互联系在一起的”。当人们陶醉在AI的初步成就中时,天空中悄悄地升起了乌云。专家们发现,AI研究的困难原来远远比以前想象的严重得多。后来的事实,不得不给头脑发热的AI工作者泼上一盆冷水:

● 拿定理证明来说,1965年发明的归结法曾认为是一重大突破。但是很快就发现归结法的能力有限。用归结原理证明两个连续函数之和还是连续函数,推了10万步也没有推出来。

● 塞缪尔的下棋程序也不那么神气了。当了州级冠军之后没有当上全国冠军。1956年世界冠军Helmann与下棋程序对弈了四局,获得全胜。仅有一个和局是因为Helmann“匆忙地同时与几个人对弈”,由疏忽造成。

● 最糟糕的要算机器翻译,50~60年代美国耗费巨额投资,试图实现“英—俄—英”互译,但其译文质量低劣,甚至闹出笑话。最后不得不以失败而告终。

● 从神经生理角度研究AI的人发现他们遇到了几乎不可逾越的困难。进一步研究发现,人脑有 $10^{11}$ 以上的神经元。在当时的技术条件下用机器模拟大脑根本不可能。

● 关于人工智能的本质、理论、思想和机理,更受到来自哲学、心理学、神经生理学等社会的责难、怀疑和批评。更有甚者,AI学者被一些人嘲笑、挖苦,被指责为是一些好高骛远、头脑发热,潜心于搞“永动机”的狂人。

所有这一切表明,用通用问题求解——亦即用物理学的还原论方法解决人类智能——思维、推理问题谈何容易。所有这些迫使AI研究者不得不从动机、理论及实践上对AI体系进行认真反思,并有少部分AI研究者开始怀疑其正确性。英国在AI研究上受到了最大的打击。英国曾有一批出色的AI科学家,其研究工作曾居世界前列。1971年英国剑桥大学应用数学家詹姆斯应英国政府要求,发表AI综合报告,指责“AI研究即使不是骗局,也是庸人自扰”。该报告被政府采纳后,AI研究经费被削减,研究机构被解散,一个好端端的局面被目光短浅的人一笔勾销了。甚至在AI发源地的美国,原先对这一领域持保守态度的人变得更保守了。曾一度热衷于AI研究的IBM公司也下令取消了在本公司范围内的所有AI研究活动。从此,AI形势急转直下,进入低谷。

实际上,在60年代,当人们热衷于研究下棋及数学定理证明之时,另一个重要研究领域正在悄悄兴起,这就是专家系统研究。自60年代末,Dendral(化学分子原子结构)、Macsyma(数学定理)、Mycin(医学诊断)、Prospector(地质探矿)等专家系统纷纷被开发,产生了巨大的社