

高等学校电子信息类规划教材

# 人工智能原理与方法

王永庆

西安交通大学出版社

## 内 容 简 介

本书较全面地介绍了人工智能的基本理论、方法及其应用技术。全书共 12 章,可分为三大部分:第一部分包括第 1 章至第 6 章,论述了人工智能的三大技术,即知识表示、推理及搜索,重点讨论了不确定性的表示及处理技术;第二部分包括第 7 章至第 10 章,着重讨论了专家系统、机器学习、模式识别及智能决策支持系统等研究领域的有关概念及系统构成技术;第三部分包括第 11 章和第 12 章,分别讨论了神经网络和智能计算机的概念、模型、研究现状及展望等。

该书取材新颖,具有系统性、新颖性、实用性及可读性等特点,便于教学和自学,适于作为计算机学科本科生及研究生的教科书,亦可供有关科技人员参考。

(陕)新登字 007 号

高等学校电子信息类规划教材

人工智能原理与方法

王永庆

责任编辑 白居宪

\*

西安交通大学出版社出版发行

(西安市咸宁西路 28 号 邮政编码:710049 电话:(029)3268316)

西安市德力彩印厂印装

各地新华书店经销

\*

开本:787×1092 1/16 印张:30 字数:727 千字

1998 年 5 月第 1 版 1998 年 5 月第 1 次印刷

印数:1~5000

ISBN 7-5605-0934-7 / TP·162 定价:32.00 元

---

若发现本社图书有倒页、白页、少页及影响阅读的质量问题,请去当地销售部门调换或与我社发行科联系调换。发行科电话(029)3268357,3267874

# 第 1 章 绪 论

人工智能(Artificial Intelligence, 简记为 AI)是当前科学技术发展中的一门前沿学科,同时也是一门新思想、新观念、新理论、新技术不断出现的新兴学科以及正在迅速发展的学科。它是在计算机科学、控制论、信息论、神经心理学、哲学、语言学等多种学科研究的基础上发展起来的,因此又可把它看作是一门综合性的边缘学科。它的出现及所取得的成就引起了人们的高度重视,并得到了很高的评价。有的人把它与空间技术、原子能技术一起誉为 20 世纪的三大科学技术成就;有的人把它称为继三次工业革命后的一又一次革命,并称前三次工业革命主要是延长了人手的功能,把人类从繁重的体力劳动中解放出来,而人工智能则是延伸人脑的功能,实现脑力劳动的自动化。

本章将讨论智能、人工智能的基本概念,并对人工智能的研究目标、研究内容、研究途径及研究领域进行简要的讨论。

## 1.1 什么是人工智能

### 1.1.1 智能

什么是智能?智能的本质是什么?这是古今中外许多哲学家、脑科学家一直在努力探索和研究的,但至今仍然没有完全解决,以致被列为自然界四大奥秘(物质的本质、宇宙的起源、生命的本质、智能的发生)之一。近些年来,随着脑科学、神经心理学等研究的进展,对人脑的结构和功能积累了一些初步认识,但对整个神经系统的内部结构和作用机制,特别是脑的功能原理还没有完全搞清楚,有待进一步的探索。在此情况下,要从本质上对智能给出一个精确的、可被公认的定义显然是不现实的。目前人们大多是把对人脑的已有认识与智能的外在表现结合起来,从不同的角度、不同的侧面、用不同的方法来对智能进行研究的,提出的观点亦不相同。其中影响较大的主要有思维理论、知识阈值理论及进化理论等。

思维理论来自认知科学。认知科学又称为思维科学,它是研究人们认识客观世界的规律和方法的一门科学,其目的在于揭开大脑思维功能的奥秘。该理论认为智能的核心是思维,人的一切智慧或智能都来自于大脑的思维活动,人类的一切知识都是人们思维的产物,因而通过对思维规律与方法的研究可望揭示智能的本质。

知识阈值理论着重强调知识对于智能的重要意义和作用,认为智能行为取决于知识的数量及其一般化的程度,一个系统之所以有智能是因为它具有可运用的知识。在此认识的基础上,它把智能定义为:智能就是在巨大的搜索空间中迅速找到一个满意解的能力。这一理论在人工智能的发展史中有着重要的影响,知识工程、专家系统等都是在这一理论的影响下发展起来的。

进化理论是由美国麻省理工学院(MIT)的布鲁克(R. A. Brook)教授提出来的。1991 年他

提出了“没有表达的智能”,1992年又提出了“没有推理的智能”,这是他根据自己对人造机器动物的研究与实践提出的与众不同的观点。该理论认为人的本质能力是在动态环境中的行走能力、对外界事物的感知能力、维持生命和繁衍生息的能力,正是这些能力对智能的发展提供了基础,因此智能是某种复杂系统所浮现的性质。它是由许多部件交互作用产生的,智能仅仅由系统总的行为以及行为与环境的联系所决定,它可以在没有明显的可操作的内部表达的情况下产生,也可以在没有明显的推理系统出现的情况下产生。该理论的核心是用控制取代表示,从而取消概念、模型及显式表示的知识,否定抽象对于智能及智能模拟的必要性,强调分层结构对于智能进化的可能性与必要性。目前这一观点尚未形成完整的理论体系,有待进一步的研究,但由于它与人们的传统看法完全不同,因而引起了人工智能界的注意。

综合上述各种观点,可以认为智能是知识与智力的总和。其中,知识是一切智能行为的基础,而智力是获取知识并运用知识求解问题的能力,即在任意给定的环境和目标的条件下,正确制订决策和实现目标的能力,它来自人脑的思维活动。具体地说,智能具有下述特征:

### 1. 具有感知能力

感知能力是指人们通过视觉、听觉、触觉、味觉、嗅觉等感觉器官感知外部世界的能力。感知是人类最基本的生理、心理现象,是获取外部信息的基本途径,人类的大部分知识都是通过感知获取有关信息,然后经过大脑加工获得的。可以说如果没有感知,人们就不可能获得知识,也不可能引发各种各样的智能活动。因此,感知是产生智能活动的前提与必要条件。

在人类的各种感知方式中,它们所起的作用是不完全一样的。据有关研究,大约80%以上的外界信息是通过视觉得到的,有10%是通过听觉得到的,这表明视觉与听觉在人类感知中占有主导地位。这就提示我们,在人工智能的机器感知方面,主要应加强机器视觉及机器听觉的研究。

### 2. 具有记忆与思维的能力

记忆与思维是人脑最重要的功能,亦是人们之所以有智能的根本原因所在。记忆用于存储由感觉器官感知到的外部信息以及由思维所产生的知识,思维用于对记忆的信息进行处理,即利用已有的知识对信息进行分析、计算、比较、判断、推理、联想、决策等。思维是一个动态过程,是获取知识以及运用知识求解问题的根本途径。

思维可分为逻辑思维、形象思维以及在潜意识激发下获得灵感而“忽然开窍”的顿悟思维等。其中,逻辑思维与形象思维是两种基本的思维方式。

逻辑思维又称为抽象思维,它是一种根据逻辑规则对信息进行处理的理性思维方式,反映了人们以抽象的、间接的、概括的方式认识客观世界的过程。在此过程中,人们首先通过感觉器官获得对外部事物的感性认识,经过初步概括、知觉定势等形成关于相应事物的信息,存储于大脑中,供逻辑思维进行处理。然后,通过匹配选出相应的逻辑规则,并且作用于已经表示成一定形式的已知信息,进行相应的逻辑推理(演绎)。通常情况下,这种推理都比较复杂,不可能只用一条规则做一次推理就可解决问题,往往要对第一次推出的结果再运用新的规则进行新一轮的推理,等等。至于推理是否会获得成功,这取决于两个因素,一是用于推理的规则是否完备,另一是已知的信息是否完善、可靠。如果推理规则是完备的,由感性认识获得的初始信息是完善、可靠的,则由逻辑思维可以得到合理、可靠的结论。逻辑思维具有如下特点:

(1) 依靠逻辑进行思维。

(2) 思维过程是串行的,表现为一个线性过程。

(3) 容易形式化,其思维过程可以用符号串表达出来。

(4) 思维过程具有严密性、可靠性,能对事物未来的发展给出逻辑上合理的预测,可使人们对事物的认识不断深化。

形象思维又称为直感思维,它是一种以客观现象为思维对象、以感性形象认识为思维材料、以意象为主要思维工具、以指导创造物化形象的实践为主要目的的思维活动。在思维过程中,它有两次飞跃,首先是从感性形象认识到理性形象认识的飞跃,即把对事物的感觉组合起来,形成反映事物多方面属性的整体性认识(即知觉),再在知觉的基础上形成具有一定概括性的感觉反映形式(即表象),然后经形象分析、形象比较、形象概括及组合形成对事物的理性形象认识。思维过程的第二次飞跃是从理性形象认识到实践的飞跃,即对理性形象认识进行联想、想象等加工,在大脑中形成新意象,然后回到实践中,接受实践的检验。这个过程不断循环,就构成了形象思维从低级到高级的运动发展。形象思维具有如下特点:

(1) 主要是依据直觉,即感觉形象进行思维。

(2) 思维过程是并行协同式的,表现为一个非线性过程。

(3) 形式化困难,没有统一的形象联系规则,对象不同,场合不同,形象的联系规则亦不相同,不能直接套用。

(4) 在信息变形或缺少的情况下仍有可能得到比较满意的结果。

由于逻辑思维与形象思维分别具有不同的特点,因而可分别用于不同的场合。当要求迅速做出决策而不要求十分精确时,可用形象思维,但当要求进行严格的论证时,就必须用逻辑思维;当要对一个问题进行假设、猜想时,需用形象思维,而当要对这些假设或猜想进行论证时,则要用逻辑思维。人们在求解问题时,通常把这两种思维方式结合起来使用,首先用形象思维给出假设,然后再用逻辑思维进行论证。

顿悟思维又称为灵感思维,它是一种显意识与潜意识相互作用的思维方式。在工作及日常生活中,我们都有过这样的体验:当遇到一个问题无法解决时,大脑就会处于一种极为活跃的思维状态,从不同角度用不同方法去寻求问题的解决方法,即所谓的“冥思苦想”。突然间,有一个“想法”从脑中涌现出来,它沟通解决问题的有关知识,使人“顿开茅塞”,问题迎刃而解。像这样用于沟通有关知识或信息的“想法”通常被称为灵感。灵感也是一种信息,它可能是与问题直接有关的一个重要信息,也可能是一个与问题并不直接相关、且不起眼的信息,只是由于它的到来“捅破了一层薄薄的窗纸”,使解决问题的智慧被启动起来。顿悟思维具有如下特点:

(1) 具有不定期的突发性。

(2) 具有非线性的独创性及模糊性。

(3) 它穿插于形象思维与逻辑思维之中,起着突破、创新、升华的作用。它比形象思维更复杂,至今人们还不能确切地描述灵感的具体实现以及它产生的机理。

最后还应该指出的是,人的记忆与思维是不可分的,它们总是相随相伴的,其物质基础都是由神经元组成的大脑皮质,通过相关神经元此起彼伏的兴奋与抑制实现记忆与思维活动。

### 3. 具有学习能力及自适应能力

学习是人的本能,每个人都在随时随地的进行着学习,既可能是自觉的、有意识的,也可能是不自觉、无意识的,既可以是教师指导的,也可以是通过自己的实践。总之,人人都在通过与环境的相互作用,不断地进行着学习,并通过学习积累知识、增长才干,适应环境的变化,充

实、完善自己。只是由于各人所处的环境不同,条件不同,学习的效果亦不相同,体现出不同的智能差异。

#### 4. 具有行为能力

人们通常用语言或者某个表情、眼神及形体动作来对外界的刺激作出反应,传达某个信息,这称为行为能力或表达能力。如果把人们的感知能力看作是用于信息的输入,则行为能力就是用作信息的输出,它们都受到神经系统的控制。

### 1.1.2 人工智能

众所周知,世界国际象棋棋王卡斯帕罗夫与美国 IBM 公司的 RS/6000 SP(深蓝)计算机系统于 1997 年 5 月 3 日至 5 月 11 日进行了六局的“人机大战”,最终“深蓝”以 3.5 比 2.5 的总比分将卡斯帕罗夫击败,拉下了这场世人瞩目的“人机大战”的帷幕。

比赛虽然结束了,但留给人们的思考却仍然在继续着。我们知道,下棋是一个斗智、斗策的过程,不仅要求参赛者具有超凡的记忆能力、丰富的下棋经验,而且还要有很强的思维能力,能对瞬息万变的随机情况迅速地作出反应,及时地采取措施进行有效的处理,否则就会造成一着失误而全盘皆输的可悲局面。对于人类说,这显然是一种智能的表现,但对计算机来说,这又意味着什么?人们自然会问,计算机作为一种电子数字机器,怎么会有类似于人的智能呢?这正是人工智能这门学科要研究并解决的问题。

顾名思义,所谓人工智能就是用人工的方法在机器(计算机)上实现的智能,或者说是人类智能在机器上的模拟,或者说是人们使机器具有类似于人的智能。由于人工智能是在机器上实现的,因此又可称之为机器智能。又由于机器智能是模拟人类智能的,因此又可称它为模拟智能。

现在,“人工智能”这个术语已被用作“研究如何在机器上实现人类智能”这门学科的名称。从这个意义上说,可把它定义为:人工智能是一门研究如何构造智能机器(智能计算机)或智能系统,使它能模拟、延伸、扩展人类智能的学科。通俗地说,人工智能就是要研究如何使机器具有能听、会说、能看、会写、能思维、会学习、能适应环境变化、能解决各种面临的实际问题等功能的一门学科。总之,它是要使机器能做需要人类智能才能完成的工作,甚至比人更高明。

关于“人工智能”的含义,早在它还没有正式作为一门学科出现之前,就由英国数学家图灵(A.M. Turing, 1912~1954)这位超时代的天才提了出来。1950 年他发表了题为“计算机与智能”(Computing Machinery and Intelligence)的论文,文章以“机器能思维吗?”开始论述并提出了著名的“图灵测试”,形象地指出了什么是人工智能以及机器应该达到的智能标准,现在许多人仍把它作为衡量机器智能的准则。尽管学术界目前存在着不同的看法,但它对人工智能这门学科的发展所产生的深远影响却是功不可灭的。图灵在这篇论文中指出不要问一个机器是否能思维,而是要看它能否通过如下测试:分别让人与机器位于两个房间里,他们可以通话,但彼此都看不到对方,如果通过对话,作为人的一方不能分辨对方是人还是机器,那么就可认为对方的那台机器达到了人类智能的水平。为了进行这个测试,图灵还用他丰富的想象力设计了一个很有趣且智能性很强的对话内容,称为“图灵的梦想”。在这个对话中,“询问者”代表人,“智者”代表机器,并且假设他们都阅读过狄更斯(C. Dickens)所著的名为《匹克威克外传》的小说。对话内容如下:

询问者:你的 14 行诗的首行为“你如同夏日”,你不觉得“春日”更好吗?

智者 :它不合韵。

询问者 :“冬日”如何?它可是完全合韵的。

智者 :它确是合韵 ,但没有人愿被比为“冬日”。

询问者 :你不是说过匹克威克先生让你能想起圣诞节吗?

智者 :是的。

询问者 :圣诞节是冬天的一个日子 ,我想匹克威克先生对这个比喻不会介意吧。

智者 :我认为你不够严谨 ,“冬日”指的是一般的冬天的日子 ,而不是某个特别的日子 ,如圣诞节。

由上述对话可以看出 ,要使机器达到人类智能的水平 ,或者正如有些学者所说的那样超过人类智能的水平 ,该是一件多么艰巨的工作。但是 ,人工智能的研究正在朝着这个方向前进着 ,图灵的梦想总有一天会变成现实。

若以图灵的标准来衡量本段开始时所提到的“深蓝”计算机 ,它当然还不是一台智能计算机 ,连开发该计算机系统的 IBM 专家也承认它离智能计算机还相差甚远 ,但它毕竟以自己高速并行的计算能力( $2 \times 10^8$  步/s 棋的计算速度)实现了人类智能在机器上的部分模拟 ,在人工智能的研究道路上迈出了可喜的一步。

### 1.1.3 人工智能的发展简史

“人工智能”是在 1956 年作为一门新兴学科的名称正式提出的。自此之后 ,它已取得了惊人的成就 ,获得了迅速的发展。毫无疑问 ,现在它已经成为人类科学技术中一门充满生机和希望的前沿学科。回顾它的发展历史 ,可归结为孕育、形成、发展这三个阶段。

#### 1. 孕育(1956 年之前)

人工智能之所以能取得今日的成就 ,以一门充满活力且备受世人瞩目的学科屹立于世界高科技之林 ,这是与几代科学技术工作者长期坚持不懈地努力分不开的 ,是各有关学科共同发展的结果。

自古以来 ,人们就一直试图用各种机器来代替人的部分脑力劳动 ,以提高征服自然的能力。其中对人工智能的产生、发展有重大影响的主要研究及其贡献有 :

(1)早在公元前 ,伟大的哲学家亚里斯多德(Aristotle ,公元前 384~322)就在他的名著《工具论》中提出了形式逻辑的一些主要定律 ,他提出的三段论至今仍是演绎推理的基本依据。

(2)英国哲学家培根(F. Bacon , 1561~1626)曾系统地提出了归纳法 ,还提出了“知识就是力量”的警句 ,这对于研究人类的思维过程 ,以及自 20 世纪 70 年代人工智能转向以知识为中心的研究都产生了重要影响。

(3)德国数学家莱布尼茨(G. Leibniz , 1646~1716)提出了万能符号和推理计算的思想 ,他认为可以建立一种通用的符号语言以及在此符号语言上进行推理的演算。这一思想不仅为数理逻辑的产生和发展奠定了基础 ,而且是现代机器思维设计思想的萌芽。

(4)英国逻辑学家布尔(G. Boole , 1815~1864)创立了布尔代数 ,他在《思维法则》一书中首次用符号语言描述了思维活动的基本推理法则。

(5)英国数学家图灵对人工智能的贡献在前面已经提及 ,还值得一提的是他在 1936 年提出了一种理想计算机的数学模型 ,即图灵机 ,这为后来电子数字计算机的问世奠定了理论基

础。

(6) 美国神经生理学家麦克洛奇(W. McCulloch)与匹兹(W. Pitts)在1943年建成了第一个神经网络模型(M-P模型),开创了微观人工智能的研究工作,为后来神经网络的研究奠定了基础。

(7) 美国数学家莫克利(J. W. Mauchly)和埃柯特(J. P. Eckert)在1946年研制出了世界上第一台电子数字计算机ENIAC,这项划时代的研究成果为人工智能的研究奠定了物质基础。

由上面的叙述不难看出,人工智能的产生和发展绝不是偶然的,它是科学技术发展的必然产物,是历史赋予科学工作者的一项光荣而艰巨的使命,客观上的条件已经基本具备,何时出现只是一个时间以及由谁来领头倡导的问题了。

## 2. 形成(1956~1969)

1956年夏季,由麻省理工学院的麦卡锡(J. McCarthy)与明斯基(M. L. Minsky) IBM公司信息研究中心的洛切斯特(N. Lochester) 贝尔实验室的香农(C. E. Shannon)共同发起,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里奇(O. Selfridge)和索罗门夫(R. Solomonoff)以及兰德公司和卡内基-梅隆大学的纽厄尔(A. Newell) 西蒙(H. A. Simon)等10人在达特莫斯(Dartmouth)大学召开了一次研讨会,讨论关于机器智能的有关问题,历时两个月。会上经麦卡锡提议正式采用了“人工智能”这一术语,用它来代表有关机器智能这一研究方向。这是一次具有历史意义的重要会议,它标志着人工智能作为一门新兴学科正式诞生了。

自这次会议之后的10多年间,人工智能的研究取得了许多引人瞩目的成就,例如:

(1) 在机器学习方面,塞缪尔于1956年研制出了跳棋程序。这个程序能从棋谱中学习,也能从下棋实践中提高棋艺,1959年它击败了塞缪尔本人,1962年又击败了一个州的冠军。

(2) 在定理证明方面,美籍华人数理逻辑学家王浩于1958年在IBM-704计算机上用3~5min证明了《数学原理》中有关命题演算的全部定理(220条),并且还证明了谓词演算中150条定理的85%;1965年鲁宾逊(Robinson)提出了消解原理,为定理的机器证明做出了突破性的贡献。

(3) 在模式识别方面,1959年塞尔夫里奇推出了一个模式识别程序;1965年罗伯特(Roberts)编制出了可分辨积木构造的程序。

(4) 在问题求解方面,1960年纽厄尔等人通过心理学试验总结出了人们求解问题的思维规律,编制了通用问题求解程序GPS,可以用来求解11种不同类型的问题。

(5) 在专家系统方面,美国斯坦福大学的费根鲍姆(E. A. Feigenbaum)自1965年开始在他领导的研究小组内开展专家系统DENDRAL的研究,1968年完成并投入使用。该专家系统能根据质谱仪的实验,通过分析推理决定化合物的分子结构,其分析能力已接近于、甚至超过有关化学专家的水平,在美、英等国得到了实际应用。该专家系统的研制成功不仅为人们提供了一个实用的智能系统,而且对知识表示、存储、获取、推理及利用等技术是一次非常有益的探索,为以后专家系统的建造树立了榜样,对人工智能的发展产生了深刻的影响,其意义远远超出了系统本身在实用上所创造的价值。

(6) 在人工智能语言方面,1960年麦卡锡研制出了人工智能语言LISP,该语言至今仍然是建造智能系统的重要工具。

除此之外,在其它方面也取得了很多研究成果,这里就不再一一列举了。在这一时期发生

的一个重大事件是 1969 年成立了国际人工智能联合会议( International Joint Conferences On Artificial Intelligence , 简称 IJCAI ) , 这是人工智能发展史上的一个重要里程碑 , 它标志着人工智能这门新兴学科已经得到了世界的肯定与公认。

### 3. 发展( 1970 年以后 )

进入 20 世纪 70 年代后 , 人工智能的研究已不仅仅局限于少数几个国家 , 许多国家都相继开展了这方面的研究工作 , 研究成果大量涌现。例如 1972 年法国马赛大学的科麦瑞尔 ( A. Comerauer ) 提出并实现了逻辑程序设计语言 PROLOG ; 斯坦福大学的肖特里菲 ( E. H. Shortliffe ) 等人从 1972 年开始研制用于诊断和治疗感染性疾病的专家系统 MYCIN。更值得一提的是 1970 年创刊了国际性的人工智能杂志( Artificial Intelligence ) , 它对推动人工智能的发展 , 促进研究者们的交流起到了重要作用。

但是 , 前进的道路并不是平坦的 , 对于一个刚刚问世 10 多年的新兴学科来说更是这样。正当研究者在已有成就的基础上向更高标准攀登的时候 , 困难与问题也接踵而来。例如塞缪尔的下棋程序与世界冠军对弈时 , 五局中败了四局。机器翻译中也出了不少问题 , 当时人们总以为只要用一部双向词典及一些词法知识就可以实现两种语言文字间的互译 , 结果发现远非这么简单。例如 , 当把“ 光阴似箭 ” 的英语句子“ Time flies like an arrow ” 翻译成日语 , 然后再翻译回来的时候 , 竟变成了“ 苍蝇喜欢箭 ” ; 当把“ 心有余而力不足 ” 的英语句子“ The spirit is willing but the flesh is weak ” 翻译成俄语 , 然后再翻译回来时竟变成了“ The wine is good but the meat is spoiled ” , 即“ 酒是好的 , 但肉变质了 ”。在问题求解方面 , 过去研究的多是良结构的问题 , 但现实世界中的问题大多是不良结构的 , 如果仍用过去的方法进行研究就会产生组合爆炸。在其它方面 , 如神经网络、机器学习等也都遇到了这样或者那样的困难。在此情况下 , 本来就对人工智能持怀疑态度的人开始对它进行指责 , 说人工智能是“ 骗局 ”、“ 庸人自扰 ” , 有些国家还削减了人工智能的研究经费 , 使人工智能的研究一时陷入了困境。

然而 , 人工智能研究的先驱者在困难和挫折面前并没有退缩 , 没有动摇他们继续研究的决心。经过认真的反思、总结前一段研究的经验及教训 , 费根鲍姆关于以知识为中心开展人工智能研究的观点被大多数人接受。从此人工智能的研究又迎来了蓬勃发展的新时期 , 即以知识为中心的时期。

自人工智能从对一般思维规律的探讨转向以知识为中心的研究以来 , 专家系统的研究在多种领域中都取得了重大突破 , 各种不同功能、不同类型的专家系统如雨后春笋般地建立起来 , 产生了巨大的经济效益及社会效益 , 令人刮目相看。例如 , 地矿勘探专家系统 PROSPECTOR 拥有 15 种矿藏知识 , 能根据岩石标本及地质勘探数据对矿藏资源进行估计和预测 , 能对矿床分布、储藏量、品位、开采价值等进行推断 , 制订合理的开采方案 , 成功地找到了超亿美元的钨矿。专家系统 MYCIN 能识别 51 种病菌 , 正确使用 23 种抗菌素 , 可协助医生诊断、治疗细菌感染性血液病 , 为患者提供最佳处方 , 成功地处理了数百病例 , 还通过了如下测试 : 用 MYCIN 与斯坦福大学医学院九名感染病医生分别对 10 例感染原不清楚的患者进行诊断并给出处方 , 由八位专家对他们的诊断进行评判 , 而且被测对象( 即 MYCIN 及九位医生 ) 互相隔离 , 评判专家亦不知道哪一份答卷是谁做的。评判内容包括两个方面 , 一是所开出的处方是否对症下药 ; 另一是所开出的处方是否对其它可能的病原体也有效且用药又不过量。评判结果是 对第一个评判内容 , MYCIN 与另外三名医生的处方一致且有效 ; 对第二个评判内容 , MYCIN 的得分超过了九名医生 , 显示出了较高的医疗水平。此外 , 内科诊断专家系统 CA-

DUCEUS 正确地诊断出了许多疑难病症。美国 DEC 公司的专家系统 XCON 能根据用户需求确定计算机的配置,专家来做这项工作一般需要三个小时,而该系统只需 0.5min,速度提高了 300 多倍。DEC 公司还建立了另外一些专家系统,由此产生的净收益每年超过 4 000 万美元。信用卡认证辅助决策专家系统 American Express 能够防止不应有的损失,据说每年可节省 2 700 万美元左右。

专家系统的成功,使人们越来越清楚地认识到知识是智能的基础,对人工智能的研究必须以知识为中心来进行。由于对知识的表示、利用、获取等的研究取得了较大的进展,特别是对不确定性知识的表示与推理取得了突破,建立了主观 Bayes 理论、确定性理论、证据理论、可能性理论等,这就对人工智能中其它领域(如模式识别、自然语言理解等)的发展提供了支持,解决了许多理论及技术上的问题。

在这一时期里,一个比较重要的事件是 1977 年费根鲍姆在第五届国际人工智能联合会议上提出了“知识工程”的概念,对以知识为基础的智能系统的研究与建造起到了重要作用。另一个影响较大的事件是日本在 1981 年宣布了第五代计算机的发展计划,并在 1991 年第 12 届国际人工智能联合会议上展出了他们研制的 PSI-3 智能工作站和由  $4 \times 4$  PSI-3 构成的模型机系统。日本的这一发展计划在世界上曾引起轰动,掀起了研制新一代计算机的热潮,其意义是深远的。它不仅对人工智能的研究与发展有重要的推动作用,而且对政治、经济、科学技术的发展都有重要的影响,正如费根鲍姆所说的那样,它将从技术上“决定世界上新的力量对比”。

我国自 1978 年也开始把“智能模拟”作为国家科学技术发展规划的主要研究课题之一,并在 1981 年成立了中国人工智能学会(CAAI),目前在专家系统、模式识别、机器人学、汉语的机器理解等方面都取得了研究成果。

## 1.2 人工智能的研究目标及基本内容

### 1.2.1 人工智能的研究目标

关于人工智能的研究目标,在由 MIT 不久前出版的新书“Artificial Intelligence at MIT. Expanding Frontiers”中作了明确的论述:“它的中心目标是使计算机有智能,一方面是使它们更有用,另一方面是理解使智能成为可能的原理。”显然,人工智能研究的目标是构造可实现人类智能的智能计算机或智能系统。它们都是为了“使得计算机有智能”,为了实现这一目标,就必须开展“使智能成为可能的原理”的研究。

研制像图灵所期望那样的智能机器,使它不仅能模拟而且可以延伸、扩展人的智能,是人工智能研究的根本目标。为实现这个目标,就必须彻底搞清楚使智能成为可能的原理,同时还需要相应硬件及软件的密切配合,这涉及到脑科学、认知科学、计算机科学、系统科学、控制论、微电子学等多种学科,依赖于它们的协同发展。但是,这些学科的发展目前还没有达到所要求的水平。就以目前使用的计算机来说,其体系结构是集中式的,工作方式是串行的,基本元件是二态逻辑,而且刚性连接的硬件与软件是分离的,这就与人类智能中分布式的体系结构、串行与并行共存且以并行为主的工作方式、非确定性的多态逻辑等不相适应。正如图灵奖获得者威尔克斯(M. V. Wilkes)最近在评述人工智能研究的历史与展望时所说的那样:图灵意义下的智能行为超出了电子数字计算机所能处理的范围。由此不难看出,像图灵所期望那样的智能机器在目前还是难以实现的。因此,可把构造智能计算机作为人工智能研究的远期目标。

人工智能研究的近期目标是使现有的电子数字计算机更聪明、更有用,使它不仅能做一般的数值计算及非数值信息的数据处理,而且能运用知识处理问题,能模拟人类的部分智能行为。针对这一目标,人们就要根据现有计算机的特点研究实现智能的有关理论、技术和方法,建立相应的智能系统。例如目前研究开发的专家系统、机器翻译系统、模式识别系统、机器学习系统、机器人等。

人工智能研究的远期目标与近期目标是相辅相成的。远期目标为近期目标指明了方向,而近期目标的研究则为远期目标的最终实现奠定了基础,作好了理论及技术上的准备。另外,近期目标的研究成果不仅可以造福于当代社会,还可进一步增强人们对实现远期目标的信心,消除疑虑。人工智能的创始人麦卡锡曾经告诫说:“我们正处在一个让人们认为是魔术师的局面,我们不能忽视这种危险。”这大概也是为了强调近期研究目标的重要性,希望以更多的研究成果证明人工智能是可以实现的,它不是虚幻的。

最后还应该指出的是,近期目标与远期目标之间并无严格的界限。随着人工智能研究的不断深入、发展,近期目标将不断地变化,逐步向远期目标靠近,近年来在人工智能各个领域中所取得的成就充分说明了这一点。

### 1.2.2 人工智能研究的基本内容

在人工智能的研究中有许多学派,例如以麦卡锡与尼尔逊(N. J. Nilsson)为代表的逻辑学派(研究基于逻辑的知识表示及推理机制);以纽厄尔和西蒙为代表的认知学派(研究对人类认知功能的模拟,试图找出产生智能行为的原理);以费根鲍姆为代表的知识工程学派(研究知识在人类智能中的作用与地位,提出了知识工程的概念);以麦克莱伦德(J. L. McClelland)和鲁梅尔哈特(J. D. Rumelhart)为代表的连接学派(研究神经网络);以贺威特(C. Hewitt)为代表的分布式学派(研究多智能系统中的知识与行为)以及以布鲁克为代表的进化论学派等。不同学派的研究内容与研究方法都不相同。另外,人工智能又有多种研究领域,各个研究领域的研究重点亦不相同。再者,在人工智能的不同发展阶段,研究的侧面也有区别,本来是研究重点的内容一旦理论上及技术上的问题都得到了解决,就不再成为研究内容。因此我们只能在较大的范围内讨论人工智能的基本研究内容。对照上一节关于“智能”的讨论,结合人工智能的远期目标,认为人工智能的基本研究内容应包括以下几个方面:

#### 1. 机器感知

所谓机器感知就是使机器(计算机)具有类似于人的感知能力,其中以机器视觉与机器听觉为主。机器视觉是让机器能够识别并理解文字、图象、物景等,机器听觉是让机器能识别并理解语言、声响等。

机器感知是机器获取外部信息的基本途径,是使机器具有智能不可缺少的组成部分,正如人的智能离不开感知一样,为了使机器具有感知能力,就需要为它配置上能“听”、会“看”的感觉器官,对此人工智能中已经形成了两个专门的研究领域,即模式识别与自然语言理解。

#### 2. 机器思维

所谓机器思维是指对通过感知得来的外部信息及机器内部的各种工作信息进行有目的的处理。正像人的智能是来自大脑的思维活动一样,机器智能也主要是通过机器思维实现的。因此,机器思维是人工智能研究中最重要、最关键的部分。为了使机器能模拟人类的思维活动,使它能像人那样既可以进行逻辑思维,又可以进行形象思维,需要开展以下几方面的研究

工作：

- (1) 知识的表示,特别是各种不精确、不完全知识的表示。
- (2) 知识的组织、累积、管理技术。
- (3) 知识的推理,特别是各种不精确推理、归纳推理、非单调推理、定性推理等。
- (4) 各种启发式搜索及控制策略。
- (5) 神经网络、人脑的结构及其工作原理。

### 3. 机器学习

人类具有获取新知识、学习新技巧,并在实践中不断完善、改进的能力,机器学习就是要使计算机具有这种能力,使它能自动地获取知识,能直接向书本学习,能通过与人的谈话学习,能通过对环境的观察学习,并在实践中实现自我完善,克服人们在学习中的局限性,例如容易忘记,效率低以及注意力分散等。

### 4. 机器行为

与人的行为能力相对应,机器行为主要是指计算机的表达能力,即“说”、“写”、“画”等。对于智能机器人,它还应具有人的四肢功能,即能走路,能取物、能操作等。

### 5. 智能系统及智能计算机的构造技术

为了实现人工智能的近期目标及远期目标,就要建立智能系统及智能机器,为此需要开展对模型、系统分析与构造技术、建造工具及语言等的研究。

## 1.3 人工智能的研究途径

自人工智能作为一门学科面世以来,关于它的研究途径主要有两种不同的观点。一种观点主张用生物学的方法进行研究,搞清楚人类智能的本质;另一种观点主张通过运用计算机科学的方法进行研究,实现人类智能在计算机上的模拟。前一种方法称为以网络连接为主的连接机制方法,后一种方法称为以符号处理为核心的方法。

### 1.3.1 以符号处理为核心的方法

以符号处理为核心的方法又称为自上而下方法或符号主义。这种方法起源于20世纪50年代中期,是在纽厄尔与西蒙等人研究的通用问题求解系统GPS中首先提出来的,用于模拟人类求解问题的心理过程,逐渐形成为物理符号系统。坚持这种方法的人认为,人工智能的研究目标是实现机器智能,而计算机自身具有符号处理的推算能力,这种能力本身就蕴含着演绎推理的内涵,因而可通过运行相应的程序系统来体现出某种基于逻辑思维的智能行为,达到模拟人类智能活动的效果。目前人工智能的大部分研究成果都是基于这种方法实现的。由于该方法的核心是符号处理,因此人们把它称为以符号处理为核心的方法或符号主义。

该方法的主要特征是：

- (1) 立足于逻辑运算和符号操作,适合于模拟人的逻辑思维过程,解决需要进行逻辑推理的复杂问题。
- (2) 知识可用显式的符号表示,在已知基本规则的情况下,无需输入大量的细节知识。
- (3) 便于模块化,当个别事实发生变化时易于修改。
- (4) 能与传统的符号数据库进行链接。

(5) 可对推理结论作出解释,便于对各种可能性进行选择。

但是,人们并非仅仅依靠逻辑推理来求解问题,有时非逻辑推理在求解问题的过程中起着更重要的作用,甚至是决定性的作用。人的感知过程主要是形象思维,这是逻辑推理做不到的,因而无法用符号方法进行模拟。另外,用符号表示概念时,其有效性在很大程度上取决于符号表示的正确性,当把有关信息转换成推理机构能进行处理的符号时,将会丢失一些重要信息,它对带有噪声的信息以及不完整的信息也难以进行处理。这就表明单凭符号方法来解决智能中的所有问题是不可能的。

### 1.3.2 以网络连接为主的连接机制方法

以网络连接为主的连接机制方法是近些年比较热门的一种方法,它属于非符号处理范畴,是在人脑神经元及其相互连接而成网络的启示下,试图通过许多人工神经元间的并行协同作用来实现对人类智能的模拟。这种方法又称为自下而上方法或连接主义。坚持这种方法的人认为,大脑是人类一切智能活动的基础,因而从大脑神经元及其连接机制着手进行研究,搞清楚大脑的结构以及它进行信息处理的过程与机理,可望揭示人类智能的奥秘,从而真正实现人类智能在机器上的模拟。

该方法的主要特征是:

(1) 通过神经元之间的并行协同作用实现信息处理,处理过程具有并行性、动态性、全局性。

(2) 通过神经元间分布式的物理联系存储知识及信息,因而可以实现联想功能,对于带有噪声、缺损、变形的信息能进行有效的处理,取得比较满意的结果。例如用该方法进行图象识别时,即使图象发生了畸变,也能进行正确的识别。近期的一些研究表明,该方法在模式识别、图象信息压缩等方面都取得了一些研究成果。

(3) 通过神经元间连接强度的动态调整来实现对人类学习、分类等的模拟。

(4) 适合于模拟人类的形象思维过程。

(5) 求解问题时,可以比较快地求得一个近似解。

但是,这种方法不适合模拟人们的逻辑思维过程,而且就目前神经网络的研究现状来看,由固定的体系结构与组成方案所构成的系统还达不到开发多种多样知识的要求,因此单靠连接机制方法来解决人工智能中的全部问题也是不现实的。

### 1.3.3 系统集成

由上面的讨论可以看出,符号方法与连接机制方法各有所长,也各有所短。符号方法善于模拟人的逻辑思维过程,求解问题时,如果问题有解,它可以准确地求出最优解,但是求解过程中的运算量将随问题复杂性的增加而呈指数性的增长;另外,符号方法要求知识与信息都用符号表示,但这一形式化的过程需由人来完成,它自身不具有这一能力。连接机制方法善于模拟人的形象思维过程,求解问题时,由于它可以并行处理,因而可以比较快的得到解,但解一般是近似的,次优的;另外,连接机制方法求解问题的过程是隐式的,难以对求解过程给出显式的解释。在这一情况下,如果能将两者结合起来,就可达到取长补短的目的。再者,就人类的思维过程来看,逻辑思维与形象思维只是人类智能中思维方式的两个方面。一般来说,人在求解问题时都是两种思维方式并用的,通过形象思维得到一个直觉的解或给出一种假设,然后用逻辑

思维进行仔细的论证或搜索,最终得到一个最优解。因此,从模拟人类智能的角度来看,也应该将两者结合起来。著名的人工智能学者明斯基、西蒙、纽厄尔等在总结人工智能所走过的曲折道路时,都指出了把两种方法结合起来的重要性。纽厄尔还发出了建立“集成智能系统”的强烈呼吁。看来,把两种方法结合在一起进行综合研究,是模拟智能研究的一条必由之路。

当然,由于两种方法存在着太多的不同,因此要把它们结合起来有许多困难需要克服。例如,如何用形象思维得出逻辑规则?如何用逻辑思维去证实形象思维的结果?两种思维方式间信息如何转换与传递?等等。目前,国内外学者都开展了相应的研究工作,例如 MCC 公司的人工智能实验室在里奇(E. Rich)的领导下就开展了建造一个可用于过程控制的集成系统的研究工作,取得了一定的进展。

就目前的研究而言,把两种方法结合起来的途径主要有两种:一种是结合,即两者分别保持原来的结构,但密切合作,任何一方都可把自己不能解决的问题转化给另一方;另一种是统一,即把两者自然地统一在一个系统中,既有逻辑思维的功能,又有形象思维的功能。

最简单的结合方法是所谓的“黑盒/细线”结构(Black-box/thin-wire)。每一个盒子或者是一个符号处理系统,或者是一个人工神经网络。盒子与盒子之间通过一个“细线”,即带宽很窄的信道进行通信,但任何一方都不知道另一方的内部情形。除了这种结构形式外,目前还有另外一些混合体系结构,如黑盒模块化(Black-box modularity)、并行管理和控制(Parallel monitoring and control)、神经网络的符号化机制(The symbolic setup of a neural net)、符号信息的神经网络获取方式(Neural net acquisition of symbolic information)、两院制结构(Bicameral architecture)等。其中,在两院制结构中大多数知识都同时用人工神经网络和符号形式表示,每部分以各自的推理机制工作,在必要时可从一种形式中抽取知识并将其转换为另一种形式,所以,尽管知识是以两种形式表示的,但实质上是共享的。

施密斯(M. L. Smith)为 Eaton 公司开发的汽车紧急刹车平衡系统是集成系统的一个典型例子。这个系统包括两个基于知识的单元和五个神经网络子系统。首先由操作人员从平衡分析器手工输入信息和事实数据到一个基于规则的预处理器,然后再把这些数据同时加入到五个神经网络子系统中。前面的系统把分析器的原始数据以图形方式显示,供专家分析。每个神经网络子系统对相应于每个图的数据按好坏进行分类。最后,这些判断以符号形式输入到第二个基于规则的诊断系统,该系统对其进行分析,并在适当的时候建议刹车系统复原。

## 1.4 人工智能的研究领域

目前,人工智能的研究更多的是结合具体领域进行的,主要研究领域有专家系统、机器学习、模式识别等。

### 1.4.1 专家系统

专家系统是目前人工智能中最活跃、最有成效的一个研究领域。自费根鲍姆等研制出第一个专家系统 DENDRL 以来,它已获得了迅速发展,广泛地应用医疗诊断、地质勘探、石油化工、教学、军事等各个方面,产生了巨大的社会效益和经济效益。

专家系统是一种基于知识的系统,它从人类专家那里获得知识,并用来解决只有专家才能解决的困难问题。因此可以这样来定义专家系统:专家系统是一种具有特定领域内大量知识

与经验的程序系统,它应用人工智能技术、模拟人类专家求解问题的思维过程求解领域内的各种问题,其水平可以达到甚至超过人类专家的水平。

关于专家系统的有关概念及建造技术将在第7章做详细讨论。

### 1.4.2 机器学习

知识是智能的基础,要使计算机有智能,就必须使它有知识,但如何使计算机具有知识呢?通常有两种方法,一种是人们把有关知识归纳、整理在一起,并用计算机可接受、处理的方式输入到计算机中去;另一种是使计算机自身具有学习能力,它可以直接向书本、向教师学习,亦可以在实践过程中不断总结经验、吸取教训,实现自身的不断完善,这后一种方式一般称为机器学习。

作为人工智能的一个研究领域,它主要研究如何使计算机具有类似于人的学习能力,使计算机能通过学习自动地获取知识及技能,实现自我完善。为达到这一目标,它将开展三个方面的研究,即人类学习机理的研究,学习方法的研究以及建立面向具体任务的学习系统。

机器学习是一个难度较大的研究领域,它与脑科学、神经心理学、计算机视觉、计算机听觉等都有密切联系,依赖于这些学科的共同发展。因此,经过近些年的研究,虽然已经取得了很大进展,提出了多种学习方法,但并未从根本上解决问题。

关于机器学习的有关概念及其学习方法将在第8章做进一步的讨论。

### 1.4.3 模式识别

机器感知是机器智能的一个重要方面,是机器获取外部信息的基本途径。模式识别就是研究如何使机器具有感知能力的一个研究领域,其中主要研究对视觉模式及听觉模式的识别。

模式是对一个物体或者某些其它感兴趣实体定量的或者结构的描述,而模式类是指具有某些共同属性的模式集合。用机器进行模式识别的主要内容是研究一种自动技术,依靠这种技术,机器就可自动地或者人尽可能少干预地把模式分配到它们各自的模式类中去。

传统的模式识别方法主要有统计模式识别与结构模式识别这两大类。近年来迅速发展的模糊数学及人工神经网络技术已经深入到模式识别中,出现了模糊模式识别及神经网络模式识别的提法,特别是新兴的神经网络方法在模式识别领域中有着巨大的发展潜力。

关于模式识别的概念及识别方法的进一步内容将在第9章进行讨论。

### 1.4.4 自然语言理解

目前人们使用计算机时,大都是用计算机的高级语言(如C语言、Fortran语言等)编制程序来告诉计算机“做什么”以及“怎样做”的,这只有经过相当训练的人才能做到,对计算机的利用带来了诸多不便,严重阻碍了计算机应用的进一步推广。如果能让计算机“听懂”、“看懂”人类自身的语言(如汉语、英语、法语等),那将使更多的人可以使用计算机,大大提高计算机的利用率。自然语言理解就是研究如何让计算机理解人类自然语言的一个研究领域。具体地说,它要达到如下三个目标:

(1) 计算机能正确理解人们用自然语言输入的信息,并能正确回答输入信息中的有关问题。

(2) 对输入信息,计算机能产生相应的摘要,能用不同词语复述输入信息的内容。

(3) 计算机能把用某一种自然语言表示的信息自动地翻译为另一种自然语言。例如把英语翻译成汉语,或把汉语翻译成英语,等等。

关于自然语言理解的研究可以追溯到 20 世纪 50 年代初期。当时由于通用计算机的出现,人们开始考虑用计算机把一种语言翻译成另一种语言的可能性,在此之后的 10 多年中,机器翻译一直是自然语言理解中的主要研究课题。起初,主要是进行“词对词”的翻译,当时人们认为翻译工作只要进行“查词典”及简单的“语法分析”就可以了,即对一篇要翻译的文章,首先通过查词典找出两种语言间的对应词,然后经过简单的语法分析调整词序就可以实现翻译。出于这一认识,人们把主要精力用于在计算机内构造不同语言对照关系的词典上。但是这种方法并未达到预期的效果,以致闹出了一些阴差阳错、颠三倒四的笑话,正像我们在前面列举的一些例子那样。进入 20 世纪 70 年代后,一批采用句法-语义分析技术的自然语言理解系统脱颖而出,在语言分析的深度和难度方面都比早期的系统有了长足的进步。这期间,有代表性的系统主要有维诺格拉德(T. Winograd)于 1972 年研制的 SHRDLU,伍德(W. Woods)于 1972 年研制的 LUNAR,夏克(R. Schank)于 1973 年研制的 MARGIE 等。其中,SHRDLU 是一个在“积木世界”中进行英语对话的自然语言理解系统,系统模拟一个能操作桌子上一些玩具积木的机器人手臂,用户通过与计算机对话命令机器人操作积木块,例如让它拿起、放下某个积木等。LUNAR 是一个用来协助地质学家查找、比较和评价阿波罗-11 飞船带回的月球岩石和土壤标本化学分析数据的系统,该系统第一个实现了用普通英语与计算机对话的人机接口。MARGIE 是夏克根据概念依赖理论建成的一个心理学模型,目的是研究自然语言理解的过程。进入 20 世纪 80 年代后,更强调知识在自然语言理解中的重要作用,1990 年 8 月在赫尔辛基召开的第 13 届国际计算机语言学大会上,首次提出了处理大规模真实文本的战略目标,并组织了“大型语料库在建造自然语言系统中的作用”、“词典知识的获取与表示”等专题讲座,预示着语言信息处理的一个新时期的到来。近 10 年来,在自然语言理解的研究中,一个值得注意的事件是语料库语言学(Corpus Linguistics)的崛起,它认为语言学知识来自于语料,人们只有从大规模语料库中获取理解语言的知识,才能真正实现对语言的理解。目前,基于语料库的自然语言理解方法还不成熟,正处于研究之中,但它是一个应引起重视的研究方向。

#### 1.4.5 自动定理证明

自动定理证明是人工智能中最先进行研究并得到成功应用的一个研究领域,同时它也为人工智能的发展起到了重要的推动作用。

定理证明的实质是对前提  $P$  和结论  $Q$ ,证明  $P \rightarrow Q$  的永真性。但是,要直接证明  $P \rightarrow Q$  的永真性一般来说是很困难的,通常采用的方法是反证法。在这方面海伯伦(Herbrand)与鲁宾逊(Robinson)先后进行了卓有成效的研究,提出了相应的理论及方法,为自动定理证明奠定了理论基础。尤其是鲁宾逊提出的归结原理使定理证明得以在计算机上实现,对机器推理作出了重要贡献。

关于自动定理证明的理论及方法,我们将在第 4 章进行讨论。

#### 1.4.6 自动程序设计

自动程序设计包括程序综合与程序正确性验证两个方面的内容。程序综合用于实现自动编程,即用户只需告诉计算机要“做什么”,无须说明“怎样做”,计算机就可自动实现程序的设

计。程序正确性的验证是要研究出一套理论和方法,通过运用这套理论和方法就可证明程序的正确性。目前常用的验证方法是用一组已知其结果的数据对程序进行测试,如果程序的运行结果与已知结果一致,就认为程序是正确的。这种方法对于简单程序来说未必不可,但对于一个复杂系统来说就很难行得通。因为复杂程序中存在着纵横交错的复杂关系,形成难以计数的通路,用于测试的数据即使很多,也难以保证对每一条通路都能进行测试,这就不能保证程序的正确性。程序正确性的验证至今仍是一个比较困难的课题,有待进一步开展研究。

### 1.4.7 机器人学

机器人是指可模拟人类行为的机器。人工智能的所有技术几乎都可在它身上得到应用,因此它可被当作人工智能理论、方法、技术的试验场地。反过来,对机器人学的研究又大大推动了人工智能研究的发展。

自20世纪60年代初研制出尤尼梅特和沃沙特兰这两种机器人以来,机器人的研究已经从低级到高级经历了三代的发展历程,它们是:

#### 1. 程序控制机器人(第一代)

第一代机器人是程序控制机器人,它完全按照事先装入到机器人存储器中的程序安排的步骤进行工作。程序的生成及装入有两种方式,一种是由人根据工作流程编制程序并将它输入到机器人的存储器中;另一种是“示教-再现”方式,所谓“示教”是指在机器人第一次执行任务之前,由人引导机器人去执行操作,即教机器人去做应做的工作,机器人将其所有动作一步步地记录下来,并将每一步表示为一条指令,示教结束后机器人通过执行这些指令(即再现)以同样的方式和步骤完成同样的工作。如果任务或环境发生了变化,则要重新进行程序设计。这一代机器人能成功地模拟人的运动功能,它们会拿取和安放、会拆卸和安装、会翻转和抖动,能尽心尽职地看管机床、熔炉、焊机、生产线等,能有效地从事安装、搬运、包装、机械加工等工作。目前国际上商品化、实用化的机器人大都属于这一类。这一代机器人的最大缺点是它只能刻板地完成程序规定的动作,不能适应变化了的情况,环境情况略有变化(例如装配线上的物品略有倾斜),就会出现問題。更糟糕的是它会对现场的人员造成危险,由于它没有感觉功能,以致有时会出现机器人伤害人的情况,日本就曾经出现机器人把现场的一个工人抓起来塞到刀具下面的情况。

#### 2. 自适应机器人(第二代)

第二代机器人的主要标志是自身配备有相应的感觉传感器,如视觉传感器、触觉传感器、听觉传感器等,并用计算机对之进行控制。这种机器人通过传感器获取作业环境、操作对象的简单信息,然后由计算机对获得的信息进行分析、处理,控制机器人的动作。由于它能随着环境的变化而改变自己的行为,故称为自适应机器人。目前,这一代机器人也已进入商品化阶段,主要从事焊接、装配、搬运等工作。第二代机器人虽然具有一些初级的智能,但还没有达到完全“自治”的程度,有时也称这类机器人为人-眼协调型机器人。

#### 3. 智能机器人(第三代)

这是指具有类似于人的智能的机器人,即它具有感知环境的能力,配备有视觉、听觉、触觉、嗅觉等感觉器官,能从外部环境中获取有关信息,具有思维能力,能对感知到的信息进行处理,以控制自己的行为;具有作用于环境的行为能力,能通过传动机构使自己的“手”、“脚”等肢体行动起来,正确、灵巧地执行思维机构下达的命令。目前研制的机器人大都只具有部分智