

第 1 章 人工智能概述

人工智能 (Artificial Intelligence 简称 AI) 是在计算机科学、控制论、信息论、神经生理学、心理学、哲学、语言学等多种学科相互渗透的基础上发展起来的一门新兴边缘学科。它主要研究如何用机器 (计算机) 来模仿和实现人类的智能行为。有人把人工智能同原子能技术、空间技术一起称为 20 世纪的三大尖端科技成就。

随着信息社会和知识经济时代的来临, 信息和知识已成为人们的一个热门话题。然而, 在这个话题的背后还蕴含着另外一个更深层的问题——智能。一般来说, 信息是由数据所表达的客观事实, 知识是信息经过智能性加工后的产物, 智能是用来对信息和知识进行加工的加工器。在信息社会, 人类面对的信息将非常庞大, 仅靠人脑表现出来的自然智能是远远不够的, 必须开发那种由机器实现的人工智能。就像在工业社会人类需要用机器去放大和延伸自己的体能一样, 在信息社会人类又需要用机器去放大和延伸自己的智能, 实现脑力劳动的自动化。

人工智能前景诱人, 同时也任重而道远。本章作为概述, 主要讨论人工智能的定义、形成过程、研究内容、研究方法、技术特点、应用领域及发展趋势等。目的在于展示一个处于不断发展中的人工智能的概貌, 使读者对它能有一个初步了解。

1.1 人工智能及其研究目标

1.1.1 人工智能的定义

谈到人工智能的定义, 首先需要指出以下两点: 第一, 人工智能和其他许多新兴学科一样, 至今尚无一个统一的定义, 所谓人工智能的定义, 只能是人工智能学者根据对它的已有认识所作的一些不同解释; 第二, 人工智能的定义依赖于智能的定义。因此, 要定义人工智能, 首先应该定义智能。

什么是智能

通俗地说, 智能是一种认识客观事物和运用知识解决问题的综合能力。至于其确切定义, 还有待于对人脑奥秘的彻底揭示。事实上, 为揭示这一奥秘, 人类一直在进行着不懈的探索。但遗憾的是这一问题至今尚未完全解决, 人类目前对人脑的认识还比较肤浅。在这种情况下, 要从本质上确切定义智能还为时过早。尽管如此, 人类通过对人脑奥秘的探索, 毕竟对智能有了一个初步的认识。

(1) 认识智能的不同观点

人类在认识智能的过程中提出了许多不同的观点, 其中最具有代表性的观点有以下三种。

智能来源于思维活动

这种观点被称为思维理论, 它强调思维的重要性, 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, 人的一切知识都是思维的产物, 因而通过对思维规律与思维方法的研究可望揭示智能的本质。

智能取决于可运用的知识

这种观点被称为知识阈值理论，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。知识阈值理论着重强调知识对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可运用的程度，一个系统所具有的可运用知识越多，其智能性就会越高。

智能可由逐步进化来实现

这种观点被称为进化理论，它是由美国麻省理工学院（MIT）的布鲁克（R. A. Brooks）教授在对人造机器虫研究的基础上提出来的。他认为智能取决于感知和行为，取决于对外界复杂环境的适应，智能不需要知识，不需要表示，不需要推理，智能可以由逐步进化来实现。这一观点目前还没有形成完整的理论体系，反对者大有人在。但由于其与众不同且来源于实践，故引起了人们的关注。

由于上述三种观点对智能的认识角度不同，有些看起来好像是相互对立的，但如果把它们放到智能的层次结构中去考虑，又是统一的。

（2）智能的层次结构

人类的智能总体上可分为高、中、低三个层次，不同层次智能的活动由不同的神经系统来完成。其中，高层智能以大脑皮层为主，大脑皮层也称抑制中枢，主要完成记忆和思维等活动；中层智能以丘脑为主，丘脑也称感觉中枢，主要完成感知活动；低层智能以小脑、脊髓为主，主要完成动作反应。并且，智能的每个层次都还可以再进行细分。例如，对思维活动可按思维的功能分为记忆、联想、推理、学习、识别、理解等；或按思维的特性分为形象思维、抽象思维、灵感思维等。对感知活动可按感知功能分为视觉、听觉、嗅觉、触觉等。对行为活动可按行为的功能分为运动控制、生理调节、语言生成等。

可见，前述不同观点中的思维理论和知识阈值理论对应于高层智能，而进化理论则对应于中层智能和低层智能。

（3）智能所包含的能力

智能是一种综合能力。具体地说，它包含的各种能力如下。

① 智能具有感知能力

感知能力是指人们通过感觉器官感知外部世界的的能力。它是人类最基本的生理、心理现象，也是人类获取外界信息的基本途径。人类对感知到的外界信息，通常有两种不同的处理方式：一种是对简单或紧急情况，可不经大脑思索，直接由低层智能做出反应。例如，人们骑自行车遇到紧急情况时的急刹车动作；另一种是对复杂情况，一定要经过大脑的思维，然后才能作出反应，例如，人们平常所说的“三思而后行”。

② 智能具有记忆与思维能力

记忆与思维是人脑最重要的功能，也是人类智能最主要的表现形式。记忆是对感知到的外界信息或由思维产生的内部知识的存储过程。思维是对所存储的信息或知识的本质属性、内部规律等的认识过程。人类基本的思维方式有抽象思维、形象思维和灵感思维。

抽象思维也称为逻辑思维，是一种基于抽象概念，根据逻辑规则对信息或知识进行处理的理性思维形式。例如，推理、证明、思考等活动。神经生理学认为，抽象思维是由左半脑实现的。

形象思维也称为直感思维，是一种基于形象概念，根据感性形象认识材料对客观现象进行处理的一种思维方式。例如，视觉信息加工、图像或景物识别等。神经生理学认为，形象思维是由右半脑实现的。

灵感思维也称为顿悟思维，是一种显意识与潜意识相互作用的思维方式。平常，人们在考

虑问题时往往会因获得灵感而顿时开窍。这说明人脑在思维时除了那种能够感觉到的显意识在起作用外，还有一种潜意识也在起作用，只不过人们意识不到而已。灵感思维在创造性思维中起着十分重要的作用，它比形象思维更为复杂，对其产生机理和实现方法人们至今还不能确切描述。

在人类的思维机制中，形象思维和抽象思维通常是被结合起来使用的。即先用形象思维形成假设，然后再用抽象思维进行论证。至于形象思维到抽象思维的过渡，则是一个有待研究的问题。

智能具有学习和自适应能力

学习是一个具有特定目的的知识获取过程。学习和自适应是人类的一种本能，一个人只有通过学习，才能增加知识、提高能力、适应环境。尽管不同人在学习方法、学习效果等方面有较大差异，但学习却是每个人都具有的一种基本能力。

智能具有行为能力

行为能力是指人们对感知到的外界信息做出动作反应的能力。引起动作反应的信息可以由感知直接获得的外部信息，也可以是经思维加工后的内部信息。完成动作反应的过程，一般通过脊髓来控制，并由语言、表情、体姿等来实现。

2. 什么是人工智能

人工智能是一个含义很广的词语，在其发展过程中，具有不同学科背景的人工智能学者对它有着不同的理解，提出了一些不同的观点，如符号主义观点、连接主义观点和行为主义观点等。这些不同观点将在后面专门讨论，这里主要考虑人工智能的定义。

综合各种不同的人工智能观点，可以从“能力”和“学科”两个方面对人工智能进行定义。从能力的角度来看，人工智能是相对于人的自然智能而言的，所谓人工智能是指用人工的方法在机器（计算机）上实现的智能；从学科的角度来看，人工智能是作为一个学科名称来使用的，所谓人工智能是一门研究如何构造智能机器或智能系统，使它能模拟、延伸和扩展人类智能的学科。

如何衡量机器是否具有智能？早在 1950 年人工智能还没有作为一门学科正式出现之前，英国数学家图灵（A. M. Turing）就在他发表的一篇文章《Computing Machinery and Intelligence（计算机与智能）》中提出了“机器能思维”的观点，并设计了一个很著名的测试机器智能的实验，称为“图灵测试”或“图灵实验”。该测试的参加者由一位测试主持人和两个被测试者组成。要求两个被测试者中的一个是一人，另一个是机器。测试规则是：让测试主持人和每个被测试者分别位于彼此不能看见的房间中，相互之间只能通过计算机终端进行会话。测试开始后，由测试主持人向被测试者提出各种具有智能性的问题，但不能询问测试者的物理特征。被测试者在回答问题时，都应尽量使测试者相信自己是“人”，而另一位是“机器”。在这个前提下，要求测试主持人区分被测试者哪个是人，哪个是机器。如果无论如何更换测试主持人和被测试者中的人，测试主持人能分辨出人和机器的概率都小于 50%，则认为该机器具有了智能。作为人的一方不能判定对方是人还是机器，那么就认为对方的那台机器达到了人的智能。

对图灵的这个测试标准，也有人提出了疑义：认为该测试仅反映了结果的比较，既没有涉及思维的过程，也没有明确参加实验的人是小孩还是具有良好素质的成年人。尽管如此，它对人工智能这门学科的发展所产生的影响则是十分深远的。

1.1.2 人工智能的研究目标

关于人工智能的研究目标，目前还没有一个统一的说法。1978年，索罗门(A. Sloman)对人工智能给出了以下三个主要目标：

- (1) 对智能行为有效解释的理论分析；
- (2) 解释人类智能；
- (3) 构造智能的人工制品。

要实现索罗门的这些目标，需要同时开展对智能机理和智能构造技术的研究。即使对图灵所期望的那种智能机器，尽管它没有提到思维过程，但要真正实现这种智能机器，却同样离不开对智能机理的研究。因此，揭示人类智能的根本机理，用智能机器去模拟、延伸和扩展人类智能应该是人工智能研究的根本目标，或者叫远期目标。

人工智能的远期目标涉及到脑科学、认知科学、计算机科学、系统科学、控制论及微电子等多种学科，并有赖于这些学科的共同发展。但从目前这些学科的现状来看，实现人工智能的远期目标还需要有一个较长的时期。

在这种情况下，人工智能研究的近期目标是研究如何使现有的计算机更聪明，即使它能够运用知识去处理问题，能够模拟人类的智能行为，如推理、思考、分析、决策、预测、理解、规划、设计和学习等。为了实现这一目标，人们需要根据现有计算机的特点，研究实现智能的有关理论、方法和技术，建立相应的智能系统。

实际上，人工智能的远期目标与近期目标是相互依存的。远期目标为近期目标指明了方向，而近期目标则为远期目标奠定了理论和技术基础。同时，近期目标和远期目标之间并无严格界限，近期目标会随人工智能研究的发展而变化，并最终达到远期目标。

1.2 人工智能的产生与发展

人工智能这个术语自1956年正式提出，并作为一个新兴学科的名称被使用以来，已经有四十多年的历史了。回顾其产生与发展过程，可大致分为孕育、形成、知识应用、综合集成这四个阶段。

1.2.1 孕育期(1956年以前)

自远古以来，人类就有着用机器代替人们的脑力劳动的幻想。早在公元前900多年，我国就有歌舞机器人流传的记载。到公元前850年，古希腊也有了制造机器人帮助人们劳动的神话传说。此后，在世界上的许多国家和地区也都出现了类似的民间传说或神话故事。为追求和实现人类的这一美好愿望，很多代科学家为之付出了艰辛的劳动和不懈的努力。人工智能可以在顷刻间诞生，而孕育这个学科却需要经历一个相当漫长的历史过程。

(1) 古希腊伟大的哲学家和思想家亚里斯多德(Aristotle)创立了演绎法。他在其名著《工具论》中提出了形式逻辑中的一些基本规律，为形式逻辑奠定了基础。他提出的三段论至今仍然是演绎推理的最基本出发点。

(2) 英国哲学家和自然科学家培根(F. Bacon)创立了归纳法。其归纳法和亚里斯多德的演绎法一起，构成了思维的基本法则。此外，培根还提出了“知识就是力量”的名言。这一名言对研究人类的思维过程，对几百年后人工智能研究从一般思维探讨转向专门知识运用的这一重

大突破都起到了积极的促进作用。

(3) 德国数学家和哲学家莱布尼茨(G. W. Leibnitz)把形式逻辑符号化,奠定了数理逻辑的基础,从而使得人们可以对人的思维进行运算和推理。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,提出了“万能符号”和“推理计算”的思想。这一思想不仅是数理逻辑的基础,同时也是现代机器思维设计思想的萌芽。

(4) 法国物理学家和数学家帕斯卡(B. Pascal)制造成功了世界上第一台加法器,对后来计算机领域的许多发明都产生了积极的影响。

(5) 英国数学家和发明家巴贝奇(C. Babbage)发明了差分机和分析机,为研制“思维机器”做出了巨大贡献。在他所发明的分析机中,已经包括了电子计算机的大部分特点,其设计思想与现代电子计算机十分相似。除此之外,巴贝奇还阐明了一台通用计算机系统应该包括的重要组成部分:输入(把数字输入机器)、存储器(保存数字和程序指令)、运算器(执行运算)、控制器(控制执行各种命令)和输出(把运算结果告诉用户)。只是由于当时的条件限制而未能实现,但这一思想为计算机的发展奠定了基础。

(6) 英国数学家布尔(G. Boole)创立了布尔代数。他在其著作《思维法则》中,首次用符号语言描述了思维活动中推理的基本法则,实现了莱布尼茨的理想。并在1854年发表的论文“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”的探讨。可见,布尔所关注的是研制“智能机器”。

(7) 英国数学家、超时代的天才、图灵机的发明者图灵(A. M. Turing)1936年创立了自动机理论,并为人工智能做了大量的开拓性工作。自动机理论亦称图灵机,是图灵在他26岁那年提出的一个理论计算机模型。这一理论推进了思维机器的研究,并为电子计算机的诞生奠定了理论基础。

(8) 匈牙利数学家、博弈论的创立者冯·诺依曼(John. Von. Neumann)1945年提出了存储程序的概念,在计算机领域建立了不朽的功勋。冯·诺依曼的这一思想被誉为电子计算机时代的开始。至今,计算机的体系结构还基本上是冯·诺依曼型。

(9) 美国数学家、电子数字计算机的先驱莫克利(J. W. Mauchly)与他的研究生埃克特(J. P. Eckert)合作1946年研制成功了世界上第一台通用电子计算机ENIAC(Electronic Numerical Integrator And Computer),为机器智能的研究与实现提供了物质基础。

(10) 美国著名数学家、控制论创始人维纳(N. Wiener)1948年创立了控制论。控制论是一门研究和模拟自控制的生物和人工系统的学科。这一学科的出现,标志着人们根据动物心理和行为学进行计算机模拟研究与分析的基础已经形成。控制论向人工智能的渗透,形成了现在的人工智能行为主义学派。

(11) 美国应用数学家、信息论的创始人香农(C. E. Shannon)创立了信息论。他认为人的心理活动可用信息的形式来进行研究,并提出了描述心理活动的数学模型。他1956年与麦卡锡(J. McCarthy)一起主编的《自动机研究》一书,又汇编了有关思维机器研究的多篇论文。

(12) 美国神经生理学家麦克洛奇(W. McCulloch)和皮兹(W. Pitts)一起于1943年建成了第一个神经网络模型(MP模型)。这一研究开创了用微观人工智能方法,从结构上模拟人脑的研究途径,并且为后来人工神经网络的研究奠定了理论基础。

通过上面的讨论可以看出,在人工智能诞生之前世界上的一些著名科学家就已经创立了数理逻辑、自动机理论、控制论和信息论,并发明了通用电子数字计算机。这些成就已经为人工

智能的产生准备了必要的思想、理论和物质技术条件。

2.2 形成期 (1956年——1970年)

人工智能诞生于一次历史性的聚会。为使计算机变得更“聪明”，或者说使计算机具有智能，1956年夏季，当时在达特莫斯（Dartmouth）大学的年轻数学家、计算机专家麦卡锡，后为MIT教授；和他的三位朋友，哈佛大学数学家、神经学家明斯基（M. L. Minsky，后为MIT教授），IBM公司信息中心负责人洛切斯特（N. Lochester），贝尔实验室信息部数学研究员香农共同发起，并邀请IBM公司的莫尔（T. More）和塞缪尔（A. L. Samuel），MIT的塞尔夫里奇（O. Selfridge）和索罗蒙夫（R. Solomonoff）以及兰德（RAND）公司和卡内基（Carnegie）工科大学的纽厄尔（A. Newell）和西蒙（H. A. Simon）共10个人，在美国达特莫斯大学举行了一次为期两个月的夏季学术研讨会。这10位来自美国数学、神经学、心理学、信息科学和计算机科学方面的杰出年轻科学家，在一起共同学习和探讨了用机器模拟人类智能的有关问题，并由麦卡锡提议正式采用了“人工智能 AI(Artificial Intelligence)”这一术语。从而，一个以研究如何用机器来模拟人类智能的新兴学科——人工智能诞生了。

这次会议之后，在美国很快就形成了三个以人工智能为研究目标的研究小组。一个是纽厄尔和西蒙的卡内基—兰德小组（也称心理学小组），另一个是塞缪尔的IBM公司工程课题研究小组，还有一个是明斯基和麦卡锡的MIT研究小组。人工智能在其诞生以后的10多年中，很快就在定理证明、问题求解、博弈等领域取得了重大突破。这一时期的主要研究大致有以下一些方面。

(1) 心理学小组

1957年纽厄尔、肖（J. Shaw）和西蒙等人的心理学小组研制了一个称为逻辑理论机（Logic Theory Machine 简称LT）的数学定理证明程序。该程序模拟了人类用数理逻辑证明定理时的思维规律，纽厄尔用它证明了怀特海（A. N. Whitehead）和罗素（B. A. W. Russell）的历史名著《数学原理》中的38条定理，开创了用计算机研究人类思维活动规律的工作。

LT程序是针对具体领域的，为打破这种局限性，他们随后又开始研究一种不依赖具体领域的通用问题求解程序。通过心理学实验，他们总结出了人们在解决问题时思维过程的普遍规律，并把它归结为三个阶段：

先想出大致的解题计划；

根据记忆中的公理、定理和解题规划组织解题过程；

在解题过程中不断进行方法和目标分析，修正解题计划。

基于这一规律，他们又于1960年研制了通用问题求解（General Problem Solving，简称GPS）程序。该程序当时可以解决11种不同类型的问题，如不定积分、三角函数、代数方程、猴子摘香蕉、河内梵塔、人—羊过河等。

(2) IBM工程课题研究小组

1956年，塞缪尔在IBM 704计算机上研制成功了具有自学习、自组织和自适应能力的西洋跳棋程序。这个程序可以从棋谱中学习，也可以在下棋过程中积累经验、提高棋艺。通过不断学习，该程序1959年击败了塞缪尔本人，1962年又击败了一个州的冠军。塞缪尔的下棋程序是用机器模拟人类学习过程的一次成功探索，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机制。

(3) MIT小组

1958年，麦卡锡建立了行动规划咨询系统。

1960年，麦卡锡又研制了人工智能语言 LISP。该语言不仅可以处理数值，而且可以方便地处理符号，作为建造智能系统的重要语言工具在人工智能领域得到了广泛应用。

1961年，明斯基发表了“走向人工智能的步骤”的论文，推动了人工智能的发展。

(4) 其他方面

1965年，鲁宾逊(J. A. Robinson)提出了归结(消解)原理。这种与传统自然演绎完全不同的方法为自动定理证明做出了突破性的贡献。

1965年，美国斯坦福大学的费根鲍姆(E. A. Feigenbaum)在他领导的研究小组内开始研究化学专家系统 DENDRAL。该专家系统于1968年完成并投入使用，它可以根据质谱仪的实验，通过分析推理决定化合物的分子结构。专家系统 DENDRAL 的意义并不完全在于它的实用性，而在于它对基于知识建造智能系统所进行的有益探索。DENDRAL 被称为专家系统的萌芽，是人工智能研究从一般思维探讨到专门知识应用的一次成功尝试。

1969年，由国际上许多学术团体共同发起成立了国际人工智能联合会议(International Joint Conferences on Artificial Intelligence 简称 IJCAI)，它标志着人工智能作为一门独立学科已经得到了国际学术界的认可。

以上仅是这一时期人工智能代表性成就的一部分。除此之外，人工智能还在其他许多方面也取得了不少成就。例如，1956年乔姆斯基(N. Chomsky)提出的文法体系；1958年塞尔夫里奇研制的模式识别系统程序；1970年，国际性人工智能杂志《Artificial Intelligence》的创刊等。

1.2.3 知识应用期(1971年—80年代末)

正当人们在为人工智能所取得的成就而高兴的时候，人工智能却遇到了许多困难，遭受了很大的挫折。在困难和挫折面前，人工智能的先驱者们没有退缩，他们在反思中认真总结了人工智能发展过程中的经验教训，从而又开创了一条以知识为中心、面向应用开发的研究道路，使人工智能又进入了一个新的蓬勃发展时期。

1. 挫折和教训

在成就面前，一些人工智能专家开始盲目乐观，他们认为只要依靠一些推理规则，再加上强大的计算机就可以使机器智能达到专家水平，甚至超过人的能力。20世纪60年代初期，人工智能的创始人西蒙等人就很自信地预言：10年内计算机将成为世界冠军；10年内计算机将证明一个未发现的数学定理；10年内计算机将能谱写出具有优秀作曲家水平的乐曲；10年内大多数心理学理论将在计算机上形成。然而，这些预言至今还未完全实现。

在科学上，前进的道路从来就是不平坦的，成功和失败、顺利和挫折总会交织在一起。人工智能也是如此，在它经过形成时期的快速发展之后，很快就遇到了许多麻烦。例如：

(1) 在博弈方面，塞缪尔的下棋程序在与世界冠军对弈时，5局中败了4局。

(2) 在定理证明方面，发现鲁宾逊归结法的能力有限。当用归结原理证明两个连续函数之和还是连续函数时，推了10万步也没证出结果。

(3) 在问题求解方面，由于过去研究的多是良结构的问题，而现实世界中的问题又多数为不良结构，如果仍用那些方法去处理，将会产生组合爆炸问题。

(4) 在机器翻译方面，原来人们以为只要有一本双解字典和一些语法知识就可以实现两种语言的互译，但后来发现并不那么简单，甚至会闹出笑话。例如，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，然后在翻译回来时竟变成了“酒是好的，肉变质了”，即英语句子为“*The wine is good but the meat is spoiled*”。

(5) 在神经生理学方面，研究发现人脑有 10^{11} 以上的神经元，在现有技术条件下用机器从结构上模拟人脑是根本不可能的。

(6) 在人工智能的本质、理论、思想及机理方面，人工智能受到了来自哲学、心理学、神经生理学等社会各界的责难、怀疑和批评。

在其他方面，人工智能也遇到了这样那样的问题，一时间乌云四起。在英国，1971年剑桥大学应用数学家詹姆士（James）先生应政府要求，发表了人工智能综合报告，指责“人工智能研究不是骗局，也是庸人自扰”。这个目光短浅的报告被政府采纳后，英国的人工智能研究经费被削减、机构被解散。在美国，曾一度热衷于人工智能研究的 IBM 公司也下令取消了在该公司范围内的所有人工智能研究活动。从此，形势急转直下，在全世界范围内人工智能研究陷入困境、落入低谷。

在这种极其困难的环境下，仍有一大批人工智能学者不畏艰辛、潜心研究。他们在认真总结前一阶段研究工作经验教训的同时，从费根鲍姆以知识为中心开展人工智能研究的观点中找到了新的出路。

2. 以知识为中心的研究

早在 20 世纪 60 年代中期，当大多数人工智能学者正热衷于对博弈、定理证明、问题求解等进行研究时，另外一个重要的研究领域——专家系统已经悄悄地开始孕育，也正是由于专家系统萌芽的存在，才使得人工智能在后来出现的困难和挫折中能很快找到前进方向，又迅速地再度兴起。专家系统（Expert System 简称为 ES）是一个具有大量的专门知识，并能够利用这些知识去解决特定领域中需要由专家才能解决的那些问题的计算机程序。专家系统实现了人工智能从理论研究走向实际应用，从一般思维规律探讨走向专门知识运用的重大突破，是人工智能发展史上的一次重要转折。

1972 年，费根鲍姆在继化学专家系统 DENDRAL 之后，又领导他的研究小组开始研究 MYCIN 专家系统，并于 1976 年研制成功。MYCIN 是一个用于细菌感染患者的诊断和治疗的医学专家系统。从应用角度看，它可以识别 51 种病菌，正确使用 23 种抗生素，能协助内科医生诊断细菌感染疾病，并为患者提供最佳处方。从技术角度看，他解决了知识表示、不精确推理、搜索策略、人机联系、知识获取及专家系统基本结构等一系列重大技术问题，在人工智能领域有着重要的历史地位。

1976 年，斯坦福大学国际人工智能中心杜达（R. D. Duda）等人开始研制地质勘探专家系统 PROSPECTOR，到 1981 年该系统已拥有 15 种矿藏知识。1982 年，美国利用该系统预测了华盛顿州的一个铝矿位置，随后的实际勘探充分证明了预测的准确性。

此外，还有许多著名的专家系统。例如，MIT 1971 年研制成功并投入使用的数学专家系统 MACSYMA；美国拉特格尔（Rutger）大学于 1978 年研制成功的用于青光眼诊断和治疗的专家系统 CASNET 等。

在这一时期，与专家系统同时发展的重要领域还有计算机视觉和机器人，自然语言理解与机器翻译等。例如，MIT 的维诺格拉德（T. Winnograd）1971 年开发了一个用于模拟机器人在桌面上玩积木的系统 SHRDLU。该系统可以根据英语指令变换积木和进行关于积木世界的会话。

此外，在知识表示、不精确推理、人工智能语言等方面也有重大进展。例如，1974年，明斯基提出的框架理论；1975年，绍特里夫(E. H. Shortliffe)提出并在MYCIN中应用的确定性理论；1976年，杜达提出并在PROSPECTOR中应用的主观贝叶斯方法；1972年，由科麦瑞尔(A. Colmerauer)及其研究小组在法国马塞大学研制成功了世界上第一个Prolog系统。Prolog(PROgramming in LOGic的缩写)的思想首先由克瓦斯基(R. Kowalski)提出，它是一个以逻辑为基础的程序设计语言，是继LISP之后最主要的一个人工智能语言，在人工智能领域有着非常广泛的应用，后被日本第五代计算机选为核心语言。

1977年，在第五届国际人工智能联合会议上，费根鲍姆正式提出了知识工程(Knowledge Engineering, 简称KE)的概念，并预言20世纪80年代是专家系统发展的黄金时代。从此之后，各类专家系统如雨后春笋般地发展起来，大量的商品化专家系统和智能系统纷纷推出。事实的发展证实了这一预言，整个20世纪80年代知识工程和专家系统在全世界得到了迅速发展，其应用范围也扩大到了人类社会的各个领域，并产生了巨大的经济效益。专家系统的成功，说明了知识在智能系统中的重要性，使人们更清楚地认识到人工智能系统应该是一个知识处理系统，而知识表示、知识获取、知识利用则是人工智能系统的三个基本问题。

但是，随着专家系统应用的不断深入和计算机技术的飞速发展，专家系统本身所存在的应用领域狭窄、缺乏常识性知识、知识获取困难、推理方法单一、没有分布式功能、不能访问现存数据库等问题被逐渐暴露出来。人工智能又面临着一次考验。出路何在？人工智能需要走综合集成发展的道路。

1.2.4 综合集成期(20世纪80年代末至今)

在专家系统方面，从20世纪80年代末开始逐步向多技术、多方法的综合集成与多学科、多领域的综合应用型发展。大型专家系统开发采用了多种人工智能语言(如LISP、Prolog和C++等)、多种知识表示方法(如产生式规则、框架、逻辑、语义网络、面向对象等)、多种推理机制(如演绎推理、归纳推理、非精确推理和非单调推理等)和多种控制策略(如正向、逆向和双向等)相结合的方式，并开始运用各种专家系统外壳、专家系统开发工具和专家系统开发环境等。

目前，人工智能技术正在向大型分布式人工智能、大型分布式多专家协同系统、广义知识表达、综合知识库(即知识库、方法库、模型库、方法库的集成)、并行推理、多种专家系统开发工具、大型分布式人工智能开发环境和分布式环境下的多智能体(Agent)协同系统等方向发展。

尽管如此，但从目前来看，人工智能仍处于学科发展的早期阶段，其理论、方法和技术都不太成熟，人们对它的认识也比较肤浅，甚至连人工智能能否归结、如何归结为一组基本原理还是个问号。这些都还有待于人工智能工作者的长期探索。

1.3 人工智能研究的基本内容及其特点

1.3.1 人工智能研究的基本内容

关于人工智能的研究内容，各种不同学派、不同研究领域以及人工智能发展的不同时期，对其有着一些不同的看法。下面根据人工智能的现状，给出几个对实现人工智能系统来说具有一般意义的基本内容。

1. 认知建模

所谓认知可一般地认为是和情感、动机、意志相对应的理智或认识过程，或者说是为了一定目的，在一定的心理结构中进行的信息加工过程。

美国心理学家浩斯顿（Houston）等人曾把对认知（cognition）的看法归纳为以下 5 种主要类型：

- （1）认知是信息的处理过程；
- （2）认知是心理上的符号运算；
- （3）认知是问题求解；
- （4）认知是思维；
- （5）认知是一组相关的活动，如知觉、记忆、思维、判断、推理、问题求解、学习、想象、概念形成及语言使用等。

实际上人类的认知过程是非常复杂的，人们对其研究形成了认知科学（亦称思维科学）。因此，认知科学是研究人类感知和思维信息处理过程的一门学科，它包括从感觉的输入到复杂问题的求解，从人类个体智能到人类社会智能的活动，以及人类智能和机器智能的性质；其主要研究目的就是要说明和解释人类在完成认知活动时是如何进行信息加工的。

认知科学是人工智能的重要理论基础，对人工智能发展起着根本性的作用。认知科学涉及的问题非常广泛，除了像浩斯顿提出的知觉、语言、学习、记忆、思维、问题求解、创造、注意、想象等相关联活动外，还会受到环境、社会、文化背景等方面的影响。从认知观点看，人工智能不能仅限于逻辑思维的研究，还必须深入开展对形象思维和灵感思维的研究。只有这样，才能使人工智能具有更坚实的理论基础，才能为智能计算机系统的研制提供更新的思想，创造更新的途径。

2. 机器感知

所谓机器感知，就是要让计算机具有类似于人的感知能力，如视觉、听觉、触觉、嗅觉、味觉。在这些感知能力中，目前研究较多、较为成功的是机器视觉（或叫计算机视觉）和机器听觉（或叫计算机听觉）。计算机视觉就是给计算机配上能看的视觉器官，如摄像机等，使它可以识别并理解文字、图像、景物等；计算机听觉就是给计算机配上能听的听觉器官，如话筒等，使计算机能够识别并理解语言、声音等。

机器感知是计算机智能系统获取外部信息的最主要途径，也是机器智能不可缺少的重要组成部分。对计算机视觉与听觉的研究，目前已在人工智能中形成了一些专门的研究领域，如计算机视觉、模式识别、自然语言理解等。

3. 机器思维

所谓机器思维，就是让计算机能够对感知到的外界信息和自己产生的内部信息进行思维性加工。由于人类的思维功能包括逻辑思维、形象思维和灵感思维，因此机器思维的研究也应该包括这几个方面。为了实现机器的思维功能，需要在知识的表示、组织及推理方法，各种启发式搜索及控制策略，神经网络、人脑结构及其工作原理等方面进行研究。

由于人类智能主要来自于大脑的思维活动，因此机器智能也主要应该通过机器的思维功能来实现。机器思维是机器智能的重要组成部分。

4. 机器学习

所谓机器学习就是让计算机能够像人那样自动地获取新知识，并在实践中不断地完善自我和增强能力。机器学习是机器具有智能的根本途径，也是人工智能研究的核心问题之一。目前，人类根据对学习的已有认识，已经研究出了不少机器学习方法，如机械学习、类比学习、归纳学习、发现学习、遗传学习和连接学习等。

5. 机器行为

所谓机器行为就是让计算机能够具有像人那样的行动和表达能力，如走、跑、拿、说、唱、写、画等。如果把机器感知看作智能系统的输入部分，那么机器行为则可看作智能系统的输出部分。机器人学作为人工智能的一个研究领域，包含了机器行为方面的研究。

6. 智能系统与智能计算机

无论是人工智能的近期目标还是远期目标，都需要建立智能系统或构造智能机器，因此需要开展对系统模型、构造技术、构造工具及语言环境等方面的研究。

1.3.2 人工智能研究的特点

目前的计算机系统仍未彻底突破传统的冯·诺依曼结构，这种二进制表示的集中串行工作方式具有较强的逻辑运算功能和很快的算术运算速度，但与人脑的组织结构和思维功能有很大差别。研究表明，人脑大约有 10^{11} 个神经元，并按并行分布式方式工作，具有较强的演绎、推理、联想、学习功能和形象思维能力。例如，对图像、图形、景物等，人类可凭直觉、视觉，通过视网膜、脑神经对其进行快速响应与处理，而传统计算机却显得非常迟钝，甚至连不会说话的小孩都不如。

如何缩小这种差距呢？要靠人工智能技术。从长远观点看，需要彻底改变冯·诺依曼计算机的体系结构，研制智能计算机。但从目前条件看，还主要靠智能程序系统来提高现有计算机的智能化程度。智能程序系统和传统的程序系统相比，具有以下几个主要特点。

(1) 重视知识 (Knowledge)

知识是一切智能系统的基础，任何智能系统的活动过程都是一个获取知识和运用知识的过程，而要获取和运用知识，首先应该能够对知识进行表示。所谓知识表示就是用某种约定的方式对知识进行的描述。在知识表示方面目前有两种基本观点：一种是叙述性 (Declarative) 观点，另一种是过程性 (Procedural) 观点。叙述性知识表示观点是将知识的表示与知识的运用分开处理，在知识表示时不涉及如何运用知识的问题；过程性知识表示观点是将知识的表示与知识的运用结合起来，知识就包含在程序之中。两种观点各有利弊，目前人工智能程序采用较多的是叙述性观点。当然，也可根据具体问题的性质而定。

(2) 重视推理 (Reasoning)

所谓推理就是根据已有知识运用某种策略推出新知识的过程。事实上，一个智能系统仅有知识是不够的，它还必须具有思维能力，即能够运用知识进行推理和解决问题。人工智能中的推理方法主要有经典逻辑推理、不确定性推理和非单调性推理。

(3) 采用启发式 (Heuristics) 搜索

所谓搜索就是根据问题的现状不断寻找可利用的知识，使问题能够得以解决的过程。人工

智能中的搜索分为盲目搜索和启发式搜索两种。所谓盲目搜索是指仅按预定策略进行搜索，搜索中获得的信息不改变搜索过程的搜索方法。所谓启发式搜索则是指能够利用搜索中获得的问题本身的一些特性信息（亦称启发信息）来指导搜索过程，使搜索朝着最有希望的方向前进。人工智能主要采用的是启发式搜索策略。

（4）采用数据驱动（Data Driven）方式

所谓数据驱动是指在系统处理的每一步，当考虑下一步该做什么时，需要根据此前所掌握的数据内容（亦称事实）来决定。与数据驱动方式对应的另一种方式是程序驱动（Program Driven），所谓程序驱动是指系统处理的每一步及下一步该做什么都是由程序事先预定好的。人类在解决问题时主要使用数据驱动方式，因此智能程序系统也应该使用数据驱动方式，这样会更接近于人类分析问题、解决问题的习惯。

（5）用人工智能语言建造系统

人工智能语言是一类适应于人工智能和知识工程领域的、具有符号处理和逻辑推理能力的计算机程序语言。它能够完成非数值计算、知识处理、推理、规划、决策等具有智能的各种复杂问题的求解。人工智能语言和传统程序设计语言相比，具有以下主要特点：

- 具有回溯和非确定性推理功能；
- 能够进行符号形式的知识信息处理；
- 能够动态使用知识和动态分配存储空间；
- 具有模式匹配和模式调用功能；
- 具有并行处理和并行分布式处理功能；
- ⑥ 具有信息隐蔽、抽象数据类型、继承、代码共享及软件重用等面向对象方面的特征；
- ⑦ 具有解释推理过程的说明功能；
- ⑧ 具有自学习、自适应的开放式软件环境等。

人工智能语言可从总体上划分为通用型和专用型两种。通用型人工智能语言主要是指以LISP为代表的函数型语言、以Prolog为代表的逻辑性语言和以C++等为代表的面向对象语言。专用型人工智能语言主要是指那种由多种人工智能语言或过程语言相互结合而构成的，具有解决多种问题能力的专家系统开发工具和人工智能开发环境。

1.4 人工智能的研究和应用领域

目前，人工智能还没有形成一个统一的理论，很多研究和应用工作都是结合具体领域进行的。其中，最主要的研究和应用领域有专家系统、机器学习、模式识别、自然语言理解、机器人学、计算机视觉、人工神经网络、分布式人工智能等。

1.4.1 机器学习

机器学习（Machine Learning）是机器具有智能的重要标志，同时也是机器获取知识的根本途径。有人认为，一个计算机系统如果不具备学习功能，就不能称其为智能系统。由于机器学习在机器智能中的这种重要地位，使得机器学习很早就成为人工智能的一个重要研究领域。

机器学习主要研究如何使计算机能够模拟或实现人类的学习功能。为此，需要重点开展人类学习机理、机器学习方法和学习系统构造技术这三个方面的研究工作。这些研究，不仅可以使计算机通过学习获取更多的知识，具有更强的智能，而且还可以进一步揭示人类的思维规律

和学习奥秘，帮助人们提高学习效率。

机器学习是一个难度较大的研究领域，它与认知科学、神经心理学、逻辑学等学科都有着密切的联系，并对人工智能的其他分支，如专家系统、自然语言理解、自动推理、智能机器人、计算机视觉、计算机听觉等方面，也会起到重要的推动作用。

关于机器学习的详细讨论，将在第 6 章进行。

1.4.2 自然语言理解

自然语言理解 (Natural Language Processing) 主要研究如何使计算机能够理解和生成自然语言。自然语言是人类进行信息交流的主要媒介，但由于它的多义性，目前人类与计算机系统之间的交流还主要依靠那种受到严格限制的非自然语言。这就给计算机的普及和使用带来了许多不便，因此自然语言理解一直作为人工智能的一个重要领域，而受到人们的高度重视。

早期的自然语言理解主要针对书面语言进行研究，即利用语言的句法、语法及语义知识，再结合有关外界信息对其进行理解。现在的研究一般是在文字识别和语音识别系统的配合下进行书面语言和有声语音的识别与理解。

关于自然语言理解的详细讨论，将在第 8 章进行。

1.4.3 专家系统

专家系统 (Expert System, 简称 ES) 是一种基于知识的智能系统，它将领域专家的经验用知识表示方法表示出来，并放入知识库中，供推理机使用。由于专家系统包含了大量的专家知识，并具有使用这些知识的能力，因此可用来解决该领域中需要专家才能解决的问题。专家系统目前尚无公认的定义，一种比较一致的解释是：专家系统是一个能在某特定领域内，以专家水平去解决该领域中困难问题的计算机程序。

专家系统作为人工智能中最活跃、发展最快的一个分支，已广泛应用于工业、农业、医学、地质、气象、交通、军事、法律、空间技术、环境科学和信息管理等众多领域，并产生了巨大的经济效益和社会效益。

专家系统自出现以来已经历了几个发展阶段，目前正在向多专家协同的分布式专家系统方向发展。有关专家系统的详细讨论，将在第 9 章进行。

1.4.4 模式识别

模式识别 (Pattern Recognition) 是人工智能最早的研究领域之一。“模式”一词的原意是指供模仿用的完美无缺的一些标本。在日常生活中，可以把那些客观存在的事物形式称之为模式，例如，一幅画、一个景物、一段音乐、一幢建筑等。在模式识别理论中，通常把对某一事物所作的定量或结构性描述的集合称为模式，例如，可以根据一个人的性别、年龄、身高、体重等来区别其体型。

所谓模式识别就是使计算机能够对给定的事务进行鉴别，并把它归入与其相同或相似的模式中。其中，被鉴别的事物可以是物理的、化学的、生理的，也可以是文字、图像、声音等。为了能使计算机进行模式识别，通常需要给它配上各种感知器官，使其能够直接感知外界信息。模式识别的一般过程是先采集待识别事物的模式信息，然后对其进行各种变换和预处理，从中抽出有意义的特征或基元，得到待识别事物的模式，然后再与机器中原有的各种标准模式进行比较，完成对待识别事物的分类识别，最后输出识别结果。

根据给出的标准模式的不同，模式识别技术可有多种不同的识别方法。其中，经常采用的方法有模板匹配法、统计模式法、句法模式法、模糊模式法和神经网络法。下面分别对这些方法作以简单介绍：

(1) 模板匹配法

这种方法是把机器中原有的待识别事物的标准模式看作一个典型模板，并把待识别事物的模式与典型模板进行比较，从而完成识别工作。

(2) 统计模式法

这种方法适用于那些不易给出典型模板的待识别事物。它根据待识别事物的有关统计特征构造出一些彼此之间存在一定差别的样本，并把这些样本作为待识别事物的标准模式，然后利用这些标准模式及相应的决策函数对待识别事物进行分类识别。例如，对手写体数字，同一个数字不同人写出来的差别很大，却又在允许的范围内，这就很难像模板匹配法那样给出其典型模板。采用统计法，可先请很多人来书写同一个字，然后再按照它们的统计特征给出识别该字的标准模式和决策函数。

(3) 句法模式法

这是一种比较复杂的识别方法，它模仿语言学中句法的层次结构，把待识别模式看作是由若干个较简单的子模式构成的集合，而每个子模式又都可以再分，依此类推。其中，最简单的子模式称为基元。这样，任何一个模式都可以用一组基元及一定的组合关系来描述，就像一篇文章是由字、词、句和一定的语法关系来构成一样，故亦被称为句法模式识别法。

(4) 模糊模式法

这种方法是模式识别的一种新方法，它是建立在模糊集理论基础上的，用来实现对客观世界中那些带有模糊特征的事物的识别和分类。

(5) 神经网络法

这是把神经网络与模式识别相结合所产生的一种新方法。这种方法在进行识别之前，首先需要用一训练样例对网络进行训练，将连接权值确定下来，然后才能对待识别事务进行识别。它适用于对复杂事物的分类，并具有并行分布式、容错、学习、自组织和自适应等特点。

1.4.5 计算机视觉

计算机视觉 (Computer Vision) 是一门用计算机实现或模拟人类视觉功能的新兴学科。其主要研究目标是使计算机具有通过二维图像认知三维环境信息的能力，这种能力不仅包括对三维环境中物体形状、位置、姿态、运动等几何信息的感知，而且还包括对这些信息的描述、存储、识别与理解。

视觉是人类感知能力中最重要的一部分，在人类感知到的外界信息中，有 80% 以上是通过视觉得到的，正如一句俗话说“百闻不如一见”。人类对视觉信息的获取、处理与理解是通过眼睛与大脑来实现的。人们视野中的物体在可见光的照射下，将在眼睛的视网膜上形成图像，由感光细胞转换成神经脉冲信号，经神经纤维传入大脑皮层进行处理与理解。视觉，不仅指对光信号的感受，还包括了对视觉信息的获取、传输、处理、存储与理解的全过程。

目前，计算机视觉已在人类社会的许多领域得到成功应用。例如，在图像、图形识别方面有指纹识别、染色体识别、字符识别等；在航天与军事方面有卫星图像处理、飞行器跟踪、成像精确制导、景物识别、目标检测等；在医学方面有 CT 图像的脏器重建、医学图像分析等；在工业方面有各种监测系统和生产过程监控系统等。

1.4.6 机器人学

机器人(Robots)是一种可再编程的多功能操作装置。机器人学是在电子学、人工智能、控制论、系统工程、精密机械、信息传感、仿生学以及心理学等多种学科或技术的基础上形成的一种综合性技术学科，人工智能的所有技术几乎都可以在这个领域得到应用。

机器人研究，一方面可以满足生产自动化、原子能利用、宇宙和海洋开发等领域的特殊要求，例如，可让机器人代替人在高温、高压、深水或带有放射性、毒害性物质的环境中从事繁重或危险工作；另一方面，可以为人工智能理论、方法、技术研究提供一个综合试验场地，对人工智能各个领域的研究进行全面检查，并反过来推动人工智能研究的发展。

1. 机器人研究的发展过程

早在 20 世纪 20 年代，就有人着手研究实用机器人。20 世纪 50 年代电子计算机的出现，尤其是 20 世纪 60 年代中期微处理器的出现，使机器人技术迅速发展，机器人开始进入大量生产和实用阶段。到目前为止，机器人的研究和发展已经历了四个阶段。

(1) 遥控机器人

遥控机器人是一种本身没有工作程序，不能独立完成任何工作，需要靠人在远处对其实时操纵的机器人。

(2) 程序机器人

程序机器人是一种动作靠事先装入到机器人存储器中的程序来控制的、对外界环境没有感知能力的机器人。这种机器人的工作程序一般是固定的，如果任务或环境发生了变化，则需要重新进行程序设计。这种机器人能成功地模拟人的运动功能，能从事安装、搬运、机械加工等工作。目前国际上商品化的实用机器人大多数都属于这一类。其最大缺点是只能按程序去完成规定的动作，不能适应变化了的情况。

(3) 自适应机器人

自适应机器人是一种自身具有感知能力，并能根据外界环境改变自己行动的机器人。这种机器人所配备的感知装置通常有视觉传感器、触觉传感器和听觉传感器等，机器人可通过这些感知装置获取工作环境和操作对象的简单信息，然后由计算机对这些信息进行分析和处理，并根据处理结果控制机器人的动作。这种机器人能适应环境变化，主要用于焊接、装配等工作，目前也已进入商品化阶段。自适应机器人虽然具有一些初级智能，但并没达到完全自治的程度。

(4) 智能机器人

智能机器人是一种具有感知能力、思维能力和行为能力的新一代机器人。这种机器人能够主动地适应外界环境变化，并能够通过学习来丰富自己的知识，提高自己的工作能力。目前，已研制出了肢体和行为功能灵活、能根据思维机构的命令完成许多复杂操作并能回答各种复杂问题的机器人。当然，这里所说的智能机器人也只是相对于前面几类机器人而言的，如何使其真正具有像人那样的智能，还是一个需要长期研究的问题。

2. 机器人研究的主要技术

目前研制出来的机器人一般是针对具体领域的，如工业机器人、水下机器人和宇宙机器人等。综合各种类型的机器人，其本身的主要研究技术如下：

(1) 研究视觉、听觉、触觉等感知器，尤其是研究空间识别问题；

- (2) 研制用精密机械元件做成的手、脚等肢体与计算机之间的结合方式；
- (3) 研究机器人从三维空间搜集信息的处理方式；
- (4) 研究识别外界环境的能力；
- (5) 研究机器人判断机理的工程化方法及相应软件。

1.4.7 博弈

博弈 (Game Playing) 是一个有关对策和斗智问题的研究领域。例如，下棋、打牌、战争等这一类竞争性智能活动都属于博弈问题。博弈是人类社会和自然界中普遍存在的一种现象，博弈的双方可以是个人、群体，也可以是生物群或智能机器，各方都力图用自己的智力击败对方。

到目前为止，人工智能对博弈的研究多以下棋为对象，但其目的并不是为了让计算机与人下棋，而主要是为了给人工智能研究提供一个试验场地，对人工智能的有关技术进行检验，从而也促进这些技术的发展。博弈研究的一个代表性成果是 IBM 公司研制的 IBM 超级计算机“深蓝”。“深蓝”被称为世界上第一台超级国际象棋电脑，该机有 32 个独立运算器，其中每一个运算器的运算速度都在每秒 200 万次以上，机内还装了一个包含有 200 万个棋局的国际象棋程序。“深蓝”于 1997 年 5 月 3 日至 5 月 11 日在美国纽约曼哈顿同当时的国际象棋世界冠军苏联人卡斯帕罗夫对弈 6 局，结果“深蓝”获胜。

1.4.8 自动定理证明

自动定理证明 (Automatic Theorem Proving) 就是让计算机模拟人类证明定理的方法，自动实现象人类证明定理那样的非数值符号演算过程。它是人工智能最早进行研究并得到成功应用的一个领域。实际上，除了数学定理以外，还有很多非数学领域的任务如医疗诊断、信息检索、难题求解等都可以转化成定理证明问题。

数学定理证明是一项非常具有智力性的活动，它不仅需要有根据假设进行演绎的能力，而且需要具备丰富的专业知识，以及某些必要的直觉和技巧。例如，为了证明某一个主要定理往往需要猜测应该先证明哪一个引理，或者当直接证明一个结论为真比较困难时往往应该采用反证法等。目前，自动定理证明的主要方法有以下几种。

(1) 自然演绎法

自然演绎法的基本思想是依据推理规则，从前提和公理中推出一些定理，如果待证明的定理恰在其中，则定理得证。这种方法的突出代表是纽厄尔等人研制的数学定理证明程序 LT 等。自然演绎法存在的一个严重问题就是组合爆炸。

(2) 判定法

判定法的基本思想是对某一类问题找出一个统一的、可在计算机上实现的算法。这种方法的突出代表是我国数学家吴文俊院士提出的证明初等几何定理的算法。其基本思想是把几何问题代数化，即先通过引入坐标把几何定理中的假设和求证部分用一组代数方程表达出来，然后再利用代数几何中的代数簇理论求解代数方程，以证明定理的正确性。这一方法在国际上被称为吴氏方法，并已证明了不少难度相当高的几何定理。

(3) 定理证明器

定理证明器是一种研究一切可判定问题的证明方法。1965 年鲁宾逊提出的归结原理为这一方法奠定了基础，但由于鲁宾逊归结原理过于一般化，在归结过程中会产生大量的多余句子，使得归结效率较低。为提高归结效率，人们又相继提出了许多归结策略。对归结原理，将在

3.4 节进行详细讨论。

(4) 人机交互定理证明

这是一种通过人机交互方式来证明定理的方法。它把计算机作为数学家的辅助工具，用计算机来帮助人完成手工证明中难以完成的那些计算、推理、穷举等。例如，1976年7月，美国的阿佩尔(K. Appel)等人合作使用该方法解决了长达124年之久未能证明的四色定理。这次证明，使用了三台大型计算机，花去了1200小时的CPU时间，并对中间结果反复进行了500多处的人为修改。四色定理的成功证明引起了科学界的关注。

1.4.9 自动程序设计

自动程序设计(Automatic Programming)是一种让计算机把用高级形式语言或自然语言描述的程序自动转换成可执行程序的技术。自动程序设计和以往的编译程序不同，编译程序只能把用某种高级程序设计语言编写的源程序翻译成目标程序，而不能处理像自然语言一类的高级形式语言。

自动程序设计包括程序综合和正确性验证两个方面。程序综合用于实现自动编程，即用户只须告诉计算机“做什么”，无须说明“怎么做”，计算机就可自动实现程序的设计。程序正确性验证是要研究出一套理论和方法，通过这套理论和方法就可以证明程序的正确性。

1.4.10 智能控制

智能控制(Intelligent Control)是指那种无需(或需要尽可能少的)人的干预就能独立地驱动智能机器实现其目标的自动控制。它是一种把人工智能技术与经典控制理论(频域法)及现代控制理论(时域法)相结合，研制智能控制系统的方法和技术。在智能控制方面，目前研究较多的有智能机器人规划与控制、智能过程规划、智能过程控制、专家控制系统、语音控制及智能仪器等。

1.4.11 智能决策支持系统

智能决策支持系统(Intelligent Decision Support System)是指那种在传统决策支持系统中增加了相应的智能部件的决策支持系统。它是把人工智能技术尤其是专家系统技术与决策支持系统相结合的产物。智能决策支持系统由数据库、模型库、方法库、人机接口及知识库五部分组成，既可发挥专家系统在知识处理方面的特长，又可发挥传统决策支持系统在数值分析方面的优势，具有很宽的应用范围和很好的应用前景。

关于智能决策支持系统的详细讨论，将在第10章进行。

1.4.12 人工神经网络

人工神经网络(Artificial Neural Network，简称ANN)是一个用大量的简单处理单元经广泛并行互连所构成的人工网络，用于模拟人脑神经系统的结构和功能。神经网络的研究开始于1943年麦克洛奇和皮兹提出的MP模型，20世纪70年代中期到20世纪80年代初期曾一度处于低潮，20世纪80年代初美国物理学家霍普菲尔德(J. J. Hopfield)提出了HNN模型(即霍普菲尔德的神经网络模型)后又一次掀起了研究热潮。

人工神经网络在模仿生物神经计算方面有一定优势，它具有自学习、自组织、自适应、联想、模糊推理等方面的能力。其研究和应用已渗透到许多领域，如机器学习、专家系统、智能控