

# 第 1 章 人工智能概述

2016 年 3 月 15 日，“一条”会下围棋的“狗”打破了世界的宁静，由 Google 旗下 DeepMind 公司研制的人工智能围棋程序 AlphaGo 对战世界围棋冠军、职业九段选手李世石，并以 4:1 的总比分获胜。AlphaGo 的成功，在全球范围内点燃了人工智能的新一轮热潮。人工智能的新闻、技术研讨、学术会议、政府调研、企业布局等等铺天盖地而来，上到国家战略，下到百姓生活，人工智能无处不在、无人不晓。当今，人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 这个具有无限潜力的学科，正在以其无穷的魅力引领着现代科学技术的发展和人类文明的进步。人工智能前景诱人，同时任重而道远。

本章主要讨论人工智能的基本概念、形成过程、基本内容、研究学派、应用领域及发展趋势等，以建立起读者对人工智能的初步认识。

## 1.1 人工智能的基本概念

人工智能到目前为止还没有一个统一的定义。所谓人工智能，不过是不同学科背景的人从不同角度对其给出了不同的解释。出现这种现象的主要原因是，人工智能的定义要依赖于智能的定义，而智能目前还无法严格定义。尽管如此，本节还是从智能的概念入手，来讨论人工智能的基本概念。

### 1.1.1 智能的概念

智能是对自然智能的简称，其确切含义还有待于对人脑奥秘的彻底揭示。按照脑科学和认知科学的现有解释，从生理角度看，智能是中枢神经系统的信号加工过程及产物；从心理角度看，智能是智力和能力的总称，其中智力侧重于认知，能力侧重于活动。

#### 1. 认识智能的不同观点

人工智能学者在认识智能的过程中，对智能的特质提出了多种观点，其中最具代表性的观点有以下 3 种。

① 智能来源于思维活动。这种观点被称为思维理论，强调思维的重要性，认为智能的核心是思维，人的一切智慧或智力都来自大脑的思维活动，人的一切知识都是思维的产物，因而通过对思维规律和思维方法的研究，可望揭示智能的本质。

② 智能取决于可运用的知识。这种观点被称为知识阈值理论，其智能定义为：智能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，一个系统具有的可运用知识越多，其智能会越高。

③ 智能可由逐步进化来实现。这种观点被称为进化理论，是由美国麻省理工学院(MIT)的布鲁克斯(R.A. Brooks)教授在对人造机器虫研究的基础上提出的。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。

由于上述 3 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

按照神经认知科学的观点，智能的物质基础和 Information 加工机构是中枢神经系统。从结构上看，中枢神经系统由大脑皮层、前脑、丘脑、中脑、后脑、小脑、脊髓等组成。与此结构对应，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（也称为抑制中枢）为主，主要完成记忆和思维等活动；中层智能以丘脑（也称为感觉中枢）为主，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，智能的每个层次可以进行细分。例如，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；感知活动可按感知功能分为视觉、听觉、嗅觉、触觉等；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，上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，而进化理论对应中层智能和低层智能。

## 3. 智能所包含的能力

按照认知科学的观点，智能是由中枢神经系统表现出来的一种综合能力，主要包括以下 4 方面。

### (1) 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能力，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；另一种是对复杂情况，一定要经过大脑的思维，然后才能做出反应。

### (2) 记忆和思维能力

记忆和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形象思维、抽象思维和灵感思维。其中，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。形象思维也称为直感思维，是基于形象概念，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。灵感思维也称为顿悟思维，是一种显意识和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那种能够感觉到的显意识在起作用，还有一种感觉不到的潜意识在起作用，只不过人

们意识不到而已。

### (3) 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，但学习是每个人都具有的一种基本能力。

### (4) 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、体态等实现。

## 1.1.2 人工智能的概念

人工智能是一个含义很广的术语，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，提出过多种观点，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，这里主要关注人工智能的定义。

综合各种人工智能观点，可以从“能力”和“学科”两方面对人工智能进行定义。从能力的角度看，人工智能是指用人工的方法在机器（如计算机）上实现的智能。从学科的角度看，人工智能是一门研究如何构造智能机器或智能系统，使其能模拟、延伸和扩展人类智能的学科。

那么，如何衡量机器是否具有智能呢？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, 1912—1954 年）就在他发表的一篇题为《*Computing Machinery and Intelligence*》（计算机与智能）的文章中提出了“机器能思维”的观点，并设计了一个著名的测试机器智能的实验，称为“图灵测试”或“图灵实验”。

“图灵实验”可描述如下：该实验的参加者由一位测试主持人和两个被测试对象组成。其中，两个被测试对象中一个是人，另一个是机器。测试规则为：测试主持人和每个被测试对象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对象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。被测试对象在回答问题时，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这两个被测试对象中哪个是人，哪个是机器。如果无论如何更换测试主持人，都会有超过 30% 的测试主持人认为与自己对话的机器是人而不是机器，则认为该机器具有了智能。

也有人对图灵的这个测试标准提出了质疑，认为该测试只反映了结果的比较，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，“图灵测试”对人工智能学科发展产生的影响却十分深远。

## 1.1.3 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，斯洛曼（A. Sloman）对人工智能给出了以下 3 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 构造具有智能的人工制品。

要实现斯洛曼的这些目标，需要同时开展对智能机理和智能构造技术的研究。对图灵期望的那种智能机器，尽管没有提到思维过程，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脑科学、认知科学、计算机科学、系统科学、控制论及微电子学等学科，并依赖这些学科的共同发展。但从目前这些学科的发展现状来看，实现人工智能的远期目标还需要一个较长的时期。

在这种情况下，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

人工智能诞生以来走过了一条坎坷和曲折的发展道路。回顾历史，按照人工智能在不同时期的主要特征，可以将其产生和发展过程分为以下 5 个阶段。

### 1.2.1 孕育期 (1956 年之前)

自远古以来，人类就有着用机器代替人们脑力劳动的幻想。早在公元前 900 多年，我国就有歌舞机器人流传的记载。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，在世界的许多国家和地区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爆发，而孕育这个学科却需要经历一个相当漫长的历史过程。

从古希腊伟大的哲学家亚里士多德 (Aristotle, 公元前 384—322 年) 创立的演绎法，到德国数学和哲学家莱布尼茨 (G. W. Leibnitz, 1646—1716 年) 奠定的数理逻辑的基础；再从英国数学家图灵 1936 年创立图灵机模型，到美国数学家、电子数字计算机的先驱莫克利 (J. W. Mauchly, 1907—1980 年) 等人 1946 年研制成功世界上第一台通用电子计算机，这些都为人工智能的诞生奠定了重要思想理论和物质技术基础。

1943 年，美国神经生理学家麦卡洛克 (W. McCulloch) 和皮茨 (W. Pitts) 一起研制出了世界上第一个人工神经网络模型 (MP 模型)，开创了以仿生学观点和结构化方法模拟人类智能的途径；1948 年，美国著名数学家威纳 (N. Wiener, 1874—1956 年) 创立了控制论，为以行为模拟观点研究人工智能奠定了理论和技术基础；1950 年，图灵发表了题为《计算机能思维吗》的著名论文，明确提出了“机器能思维”的观点。至此，人工智能的基本雏形已初步形成，人工智能的诞生条件也已基本具备。通常，人们把这一时期称为人工智能的孕育期。

## 1.2.2 形成期 (1956 年到 20 世纪 60 年代末)

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，当时在美国达特茅斯 (Dartmouth) 大学的年轻数学家、计算机专家麦卡锡 (J. McCarthy, 后为麻省理工学院教授) 和他的三位朋友——哈佛大学数学家、神经学家明斯基 (M. L. Minsky, 后为麻省理工学院教授)、IBM 公司信息中心负责人罗切斯特 (N. Rochester)、贝尔实验室信息部数学研究员香农 (C.E. Shannon) ——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弗里奇 (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 人，在达特茅斯大学举行了一个为期两个月的夏季学术研讨会。这些来自美国数学、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。

在这次会议之后 10 多年中，人工智能在定理证明、问题求解、博弈论等众多领域取得了一大批重要研究成果。例如，1956 年，塞缪尔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。该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。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, LT) 的数学定理证明程序。该程序可以模拟人类用数理逻辑证明定理时的思维规律，去证明如不定积分、三角函数、代数方程等数学问题。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。1965 年，鲁滨逊 (J.A. Robinson) 提出了归结 (消解) 原理。1968 年，美国斯坦福大学的费根鲍姆 (E.A. Feigenbaum) 领导的研究小组研制成功了化学专家系统 DENDRAL。此外，在人工神经网络方面，1957 年，罗森布拉特 (F. Rosenblatt) 等人研制了感知器 (perceptron)，利用感知器可进行简单的文字、图像、声音识别。

## 1.2.3 知识应用期 (20 世纪 70 年代初到 80 年代初)

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。然而，在困难和挫折面前，人工智能的先驱者们并没有退缩，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，从而开创了一条以知识为中心、面向应用开发的新的道路。通常，人们把从 1971 年到 20 世纪 80 年代末这段时间称为人工智能的知识应用期，也有人称为低潮时期。

### 1. 挫折和教训

人工智能在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，鲁滨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 万步也没证明出结果。
- ③ 在问题求解方面，由于过去的研究一般针对具有良好结构的问题，而现实世界中

的问题多为不良结构，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，再由俄语翻译成英语时竟变成了“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，研究发现人脑由  $10^{11} \sim 10^{12}$  个神经元组成，按当时的技术条件用机器从结构上模拟人脑是根本不可能的。对单层感知器模型，明斯基出版的专著《Perceptrons》中指出了其存在的严重缺陷，致使人工神经网络的研究落入低潮。

⑥ 在人工智能的本质、理论、思想和机理方面，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或那样的问题。一些西方国家的人工智能研究经费被削减，研究机构被解散，一时间全世界范围内的人工智能研究陷入困境，跌入低谷。

## 2. 以知识为中心的研究

科学的真理常常是先由少数人发现和创造。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，专家系统这一重要研究领域开始悄悄孕育。正是由于专家系统这棵幼小萌芽的存在，才使得人工智能能够在后来出现的困难和挫折中很快找到了前进的方向，又迅速再度兴起。

专家系统 (Expert System, ES) 是一类具有大量专门知识，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。

当时，国际上最著名的两个专家系统分别是，1976 年费根鲍姆领导研制成功的 MYCIN 专家系统和 1981 年斯坦福大学国际人工智能中心杜达 (R.D. Duda) 等人研制成功的地质勘探专家系统 PROSPECTOR。其中，MYCIN 专家系统可以识别 51 种病菌，能正确使用 23 种抗生素，能协助内科医生诊断、治疗细菌感染疾病，并从技术上解决了诸如知识表示、不确定性推理、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问题。

1977 年，费根鲍姆正式提出了知识工程 (Knowledge Engineering, KE) 的概念，进一步推动了基于知识的专家系统及其他知识工程系统的发展。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、知识利用是人工智能系统的三个基本问题。

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、机器人、自然语言理解和机器翻译等。此外，在知识工程长足发展的同时，一直处于低谷的人工神经网络开始慢慢复苏。1982 年，美国物理学家霍普菲尔特 (J. Hopfield) 提出了一种新的全互连型人工神经网络，成功地解决了计算复杂度为 NP 完全的“旅行商”问题。1986 年，鲁梅尔哈特 (D. Rumelhart) 等研制出了具有误差反向传播 (error Back-Propagation, BP) 功能的多层前馈网络 (BP 网络)，实现了明斯基关于多层网络的设想。

## 1.2.4 从学派分立走向综合 (20 世纪 80 年代中到 21 世纪初)

在人工智能领域，人们通常把 1956 年诞生的人工智能称为符号主义学派，把基于神经网络的研究称为连接主义学派。由于感知器模型所存在的局限性，连接主义学派从 1969 年开始后的十多年中一直处于低潮。直到 1982 年，霍普菲尔特提出了 Hopfield 模型，神经网络才又开始逐步复苏，其真正重新兴起则是 1986 年鲁梅尔哈特提出的 BP 网络。BP 网络的出现使得连接主义学派迅速崛起，并与符号主义学派形成了一种严重对立的局面。

在上述两个学派之外，MIT 的布鲁克斯教授于 1991 年研制成功了一个六脚机器虫，并提出了一种智能无需知识、无需推理，可通过进化来实现的观点，形成了人工智能研究领域的行为主义学派。一时间，人工智能领域三派鼎立，互不相让。随着时间的推移和各自研究的深化，人们逐步认识到，三派各有所长、各有所短，应取长补短、综合集成。故从 21 世纪初开始，三大学派开始由分立逐步走向综合。

严格地说，到目前为止，学派综合仍然是人工智能发展的主流。例如，AlphaGo 采用的就是深度强化学习。其中，深度属于连接主义，而强化学习属于符号主义。

## 1.2.5 机器学习和深度学习引领发展 (21 世纪初至今)

机器学习的历史几乎与人工智能相当，如 20 世纪 50 年代的感知器学习、60~70 年代基于逻辑的符号主义学习、80 年代的决策树学习、90 年代的连接学习和统计学习。

进入 21 世纪初，人工智能依赖的计算环境、计算资源和学习模型发生了巨大变化，云计算为人工智能提供了强大的计算环境，大数据为人工智能提供了丰富的数据资源，深度学习为人工智能提供了有效的学习模型。机器学习和深度学习在一个新的背景下异军突起，以机器学习和深度学习为引领是这一时期人工智能发展的一个最主要特征。例如，2006 年多伦多大学教授辛顿 (Hinton G E) 在前向神经网络的基础上提出的深度学习，以及近几年迅速崛起的迁移学习等。

除了上述主要特征外，这一时期的人工智能发展还呈现出了明显的多样性，如国家战略需求、企业应用推动、类脑智能引导、群体智能支撑、数据知识融合、混合增强协调、跨媒体感知理解及跨媒体推理决策等。

# 1.3 人工智能研究的基本内容

关于人工智能的研究内容，各种学派、不同研究领域，在人工智能发展的不同时期，对其有着不同的看法。下面主要从智能机理和对智能的模拟两方面进行讨论。

## 1.3.1 智能的脑与认知机理研究

脑科学和认知科学是人工智能的重要理论基础，对人工智能研究具有重要的指导和启迪作用，因此人工智能应该重视与脑科学和认知科学的交叉研究。

### 1. 智能的脑科学基础

脑科学又称为神经科学，其目的是认识脑、保护脑和创造脑。在众多关于脑科学或

神经科学的定义中，美国神经科学学会的定义最具权威性，他们认为：神经科学是为了了解神经系统内分子水平、细胞水平及细胞间的变化过程，以及这些过程在中枢的功能、控制系统内的整合作用所进行的研究。

在脑科学中，脑的含义可从狭义和广义两方面来理解。从狭义方面，脑是指中枢神经系统，有时特指大脑；从广义方面，脑可泛指整个神经系统。由于人们一般是从最广泛的交叉学科的角度来理解脑科学的，因此其学科范畴涵盖了所有与认识脑和神经系统有关的研究。又由于人工智能的主要任务是要用机器来模拟人脑，因此脑科学的研究应该是人工智能研究的必然前提。

人脑被认为是自然界中最复杂、最高级的智能系统。这种复杂性主要表现在人脑是由巨量神经元经其突触的广泛并行互连所形成的一个巨复杂系统。现代脑科学的基本问题主要包括：揭示神经元之间的连接形式，奠定行为的脑机制的结构基础；阐明神经活动的基本过程，说明在分子、细胞到行为等不同层次上神经信号的产生、传递、调制等基本过程；鉴别神经元的特殊细胞生物学特性；认识实现各种功能的神经回路基础；解释脑的高级功能机制等。

脑科学研究的任何进展，都将对人工智能的研究起到积极的推动作用，因此脑科学是人工智能的一个重要基础，人工智能应该加强与脑科学的交叉研究，以及人类智能与机器智能的集成研究。

## 2. 智能的认知科学基础

认知(cognition)可以被认为是与情感、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。美国心理学家霍斯顿(Houston)等人把对认知的看法归纳为以下5种：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。

人类的认知过程是一种非常复杂的行为，人们对其研究形成了认知科学。认知科学也称为思维科学，是一门研究人类感知和思维信息处理过程的学科，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。其主要研究目的是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。

认知科学也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，除霍斯顿提出的知觉、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。

### 1.3.2 智能模拟的理论、方法和技术研究

要用机器模拟人类智能，就必须开展对机器感知、思维、学习、行为的研究，以及对于智能系统和智能机器建造技术的研究。

机器感知，就是要让计算机具有类似人的感知能力，如视觉、听觉、触觉等。在机



器感知中，目前研究较多和较成功的是机器视觉（或叫计算机视觉）和机器听觉（或叫计算机听觉）。人们对机器感知的研究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、自然语言处理等。

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。由于人类智能主要来自大脑的思维活动，因此机器思维应该是机器智能的重要组成部分。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、思维机理等方面进行研究。

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重要标志，也是人工智能研究的核心问题之一。目前，人们根据对人类自身学习的已有认识，已经研究出了不少机器学习方法，如记忆学习、归纳学习、解释学习、发现学习、连接学习和遗传学习等。

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。如果把机器感知看成智能系统的输入部分，那么机器行为可看成智能系统的输出部分，如智能控制、智能制造、智能调度、智能机器人等。

建立智能系统或构造智能机器既是人工智能面向实际应用的关键，也是人工智能近期目标和远期目标的一种必然要求，因此需要开展对智能系统和智能机器建造技术的研究，包括系统模型、构造技术、构造工具及语言环境等方面的研究。

## 1.4 人工智能研究中的不同学派

由于智能问题的复杂性，具有不同学科背景或不同研究应用领域的学者，在从不同角度、用不同方法、沿着不同途径对人工智能本质进行探索的过程中，逐渐形成了符号主义、连接主义和行为主义三大学派。目前，这三大学派正在由早期的激烈争论和分立研究逐步走向取长补短和综合研究。

### 1.4.1 符号主义

符号主义（symbolicism），又称为逻辑主义（logicism）、心理学派（psychologism）或计算机学派（computerism），是基于物理符号系统假设和有限合理性原理的人工智能学派。符号主义认为，人工智能起源于数理逻辑，人类认知（智能）的基本元素是符号（symbol），认知过程是符号表示上的一种运算。

符号主义的代表性成果是1957年纽厄尔和西蒙等人研制的称为逻辑理论机的数学定理证明程序LT（Logic Theorist）。LT的成功说明了可以用计算机来研究人的思维过程，模拟人的智能活动。符号主义诞生的标志是1956年夏季的那次历史性聚会，符号主义者最先正式采用了人工智能这个术语。几十年来，符号主义走过了一条“启发式算法→专家系统→知识工程”的发展道路，并一直在人工智能中处于主导地位，即使在其他学派出现之后，它也仍然是人工智能的主流学派。符号主义学派的主要代表性人物有纽厄尔、肖、西蒙和尼尔森（Nilsson）等。

从理论上，符号主义认为：认知的基元是符号；认知过程就是符号运算过程；智能行为的充要条件是物理符号系统，人脑、计算机都是物理符号系统；智能的基础是知识，

其核心是知识表示和知识推理；知识可用符号表示，也可用符号进行推理，因而可以建立基于知识的人类智能和机器智能的统一的理论体系。

从研究方法上，符号主义认为，人工智能的研究应该采用功能模拟的方法。即通过研究人类认知系统的功能和机理，再用计算机进行模拟，从而实现人工智能。符号主义主张用逻辑方法来建立人工智能的统一理论体系，却遇到了“常识”问题的障碍，以及不确定事物的知识表示和问题求解等难题，因此受到了其他学派的批评和否定。

### 1.4.2 连接主义

连接主义(connectionism)，又称为仿生学派(bionicsism)或生理学派(physiologism)，是基于神经网络及网络间的连接机制与学习算法的人工智能学派。连接主义认为，人工智能起源于仿生学，特别是对人脑模型的研究。

连接主义的代表性成果是1943年由麦卡洛克和皮茨创立的脑模型，即BM(Brain Model)。连接主义从神经元开始，进而研究神经网络模型和脑模型，为人工智能开创了一条用电子装置模仿人脑结构和功能的新途径。从20世纪60年代到70年代中期，连接主义尤其是对以感知器(perceptron)为代表的脑模型研究曾出现过热潮，但由于当时的理论模型、生物原型和技术条件的限制，70年代中期到80年代初期跌入低谷，直到1982年霍普菲尔德提出了Hopfield网络模型后，才开始复苏。1986年，鲁梅尔哈特等人提出了BP网络，使得多层网络的理论模型有所突破，再加上人工神经网络在图像处理、模式识别等方面表现出来的优势，连接主义在新的技术条件下又掀起了一个研究热潮。

从理论上，连接主义认为：思维的基元是神经元，而不是符号；思维过程是神经元的连接活动过程，而不是符号运算过程；反对符号主义关于物理符号系统的假设，认为人脑不同于计算机；提出连接主义的人脑工作模式，以取代符号主义的计算机工作模式。

从研究方法上，连接主义主张：人工智能研究应采用结构模拟的方法，即着重于模拟人类神经网络的生理结构；功能、结构与智能行为是密切相关的，不同的结构表现出不同的智能行为。包括深度学习在内，连接主义目前已经提出了多种人工神经网络结构模型和连接学习算法。

### 1.4.3 行为主义

行为主义(actionism)，又称为进化主义(evolutionism)或控制论学派(cyberneticsism)，是基于控制论和“感知—动作”控制系统的人工智能学派。行为主义认为，人工智能起源于控制论，提出智能取决于感知和行为，取决于对外界复杂环境的适应，而不是表示和推理。

行为主义的代表性成果是布鲁克斯研制的机器虫。布鲁克斯认为，要求机器人像人一样去思维太困难了，在做出一个像样的机器人之前，不如先做出一个像样的机器虫，由机器虫慢慢进化，或许可以做出机器人。于是他在MIT的人工智能实验室研制成功了一个由150个传感器和23个执行器构成的像蝗虫一样能够六足行走的机器虫实验系统。这个机器虫虽然不具有像人那样的推理、规划能力，但其应付复杂环境的能力大大超过了原有的机器人，在自然环境下，具有灵活的防碰撞和漫游行为。1991年8月，在悉尼

召开的第12届国际人工智能联合会议上，布鲁克斯在他多年进行人造机器虫研究和实践的基础上发表了《没有推理的智能》的论文，对传统人工智能进行了批评和否定，提出了基于行为（进化）的人工智能新途径，从而在国际人工智能界形成了行为主义这个新的学派。

从理论上，行为主义认为：智能取决于感知和行动，提出了智能行为的“感知—动作”模型；智能不需要知识、不需要表示、不需要推理；人工智能可以像人类智能那样逐步进化，智能只有在现实世界中通过与周围环境的交互作用才能表现出来；传统人工智能（主要指符号主义，也涉及连接主义）对现实世界中客观事物的描述和复杂智能行为的工作模式做了虚假的、过于简单的抽象，因而不能真实反映现实世界的客观事物。

从研究方法上，行为主义主张，人工智能研究应采用行为模拟的方法，功能、结构和智能行为是不可分的，不同的行为表现出不同的功能和不同的控制结构。

## 1.5 人工智能的研究和应用领域

尽管目前人工智能的理论体系还没有完全形成，不同研究学派在理论基础、研究方法等方面还存在一定差异，但这些并没有影响人工智能的发展，反而使人工智能的研究更加客观、全面和深入。今天，被冠以智能的科技领域和社会现实数不胜数，智能已成为一个极具价值的学术标志、技术特征和商业标签，并在科技进步和社会发展中扮演着越来越重要的角色。面对人工智能这样一个高度交叉的新兴学科，其研究和应用领域的划分可以有多种方法。为了能给读者一个更清晰的人工智能的概念，这里采用了基于智能本质和作用的划分方法，即从感知、思维、行为、学习、计算智能、分布智能、智能机器、智能系统、智能应用等方面进行讨论。

### 1.5.1 机器思维

机器思维主要模拟人类的思维功能。在人工智能中，与机器思维有关的研究主要包括推理、搜索、规划等。

#### 1. 推理

推理是人工智能中的基本问题之一。推理是指按照某种策略，从已知事实出发，利用知识推出所需结论的过程。根据所用知识的确定性，机器推理可分为确定性推理和不确定性推理两大类。确定性推理是指推理所使用的知识和推出的结论都是可以精确表示的，其真值要么为真，要么为假。不确定性推理是指推理所使用的知识和推出的结论可以是不确定的。不确定性是对非精确性、模糊性、非单调性和非完备性等的统称。

确定性推理的理论基础是一阶经典逻辑，包括一阶命题逻辑和一阶谓词逻辑。其主要推理方法包括，直接运用一阶逻辑中的推理规则进行的自然演绎推理，基于鲁滨逊归结原理的归结演绎推理和基于产生式规则的产生式推理。由于现实世界中的大多数问题是不能精确描述的，因此确定性推理能解决的问题很有限，更多的问题应该采用不确定性推理方法。

不确定性推理的理论基础是非经典逻辑和概率理论等。非经典逻辑泛指除一阶经典

逻辑外的其他各种逻辑，如多值逻辑、模糊逻辑、模态逻辑、概率逻辑等。最常用的不确定性推理方法包括：基于可信度的确定性理论，基于 Bayes 公式的主观 Bayes 方法，基于概率的证据理论和基于模糊逻辑的可能性理论等。

## 2. 搜索

搜索也是人工智能中的最基本问题之一。搜索是指为了达到某一目标，不断寻找推理线路，以引导和控制推理，使问题得以解决的过程。根据问题的表示方式，搜索可分为状态空间搜索和与/或树搜索两大类。其中，状态空间搜索是一种用状态空间法求解问题时的搜索方法，与/或树搜索是，一种用问题归约法求解问题的搜索方法。

对搜索问题，人工智能最关心的是如何利用搜索过程所得到的、对尽快达到目标有用的信息来引导搜索过程，即启发式搜索方法，包括状态空间的启发式搜索方法和与/或树的启发式搜索方法等。

## 3. 规划

规划是一种重要的问题求解技术，是从某个特定问题状态出发，寻找并建立一个操作序列，直到求得目标状态为止的一个行动过程的描述。与一般问题求解技术相比，规划更侧重于问题求解过程，并且要解决的问题一般是真实世界的实际问题，而不是抽象的数学模型问题，如 2.2.1 节的谓词逻辑表示法中将要讨论的“猴子摘香蕉问题”等。

比较完整的规划系统是斯坦福研究所问题求解系统（Stanford Research Institute Problem Solver, STRIPS），它是一种基于状态空间和 F 规则的规划系统。F 规则是指以正向推理使用的规则。整个 STRIPS 系统由以下 3 部分组成。

① 世界模型：用一阶谓词公式表示，包括问题的初始状态和目标状态。

② 操作符（即 F 规则）：包括先决条件、删除表和添加表。其中，先决条件是 F 规则能够执行的前提条件；删除表和添加表是执行一条 F 规则后对问题状态的改变，删除表包含的是要从问题状态中删去的谓词，添加表包含的是要在问题状态中添加的谓词。

③ 操作方法：采用状态空间表示和“中间—结局”分析的方法。其中，状态空间包括初始状态、中间状态和目标状态；“中间—结局”分析是一个迭代过程，每次都选择能够缩小当前状态、与目标状态之间的差距的先决条件可以满足的 F 规则执行，直至到达目标。

## 1.5.2 机器学习

机器学习（machine learning）是机器获取知识的根本途径，也是机器具有智能的重要标志。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。机器学习有多种分类方法，如果按照对人类学习的模拟方式，机器学习可分为符号主义机器学习和连接主义机器学习两大类。

### 1. 符号主义机器学习

符号主义机器学习泛指各种从功能上模拟人类学习能力的机器学习方法，是基于符号主义学派的机器学习观点。与符号主义人工智能对应，这种学习观点认为，知识可以用符号来表示，机器学习过程可以用符号上的运算来实现。根据学习策略、理论基础及

学习能力等，符号主义机器学习可分为多种类型，如记忆学习、归纳学习、统计学习、集成学习、强化学习、大规模机器学习等。

记忆学习也叫死记硬背学习，是最基本的学习方法，原因是任何学习系统都必须记住它们所获取的知识，以便将来使用。归纳学习是指以归纳推理为基础的学习，是机器学习中研究得较多的一种学习类型，其任务是从关于某个概念的一系列已知的具体例子出发，归纳出一般的结论。示例学习、决策树学习和统计学习等都是典型的归纳学习方法。统计学习是一种基于小样本统计学习理论的机器学习方法，其典型代表是支持向量机。集成学习是一种集众多个体学习器学习结果为一体的机器学习方法。其基本思想是为解决同一问题，先训练出多个个体学习器，再将这些个体学习器结合到一起，得到最终的学习结果，如 AdaBoost 算法等。强化学习是通过与环境交互，利用环境提供的强化信号对学习过程进行评价和引导的一种机器学习方法。它把学习过程看成一种试探评价过程，通过动态调整参数，使强化信号达到最大，实现学习的目的。大规模机器学习是指那种可支持大规模数据并行学习的机器学习方法，如支持向量机、最近邻学习等。

## 2. 连接主义机器学习

连接主义机器学习也称为神经学习，是一种基于人工神经网络的学习方法。现有研究表明，人脑的学习和记忆过程都是通过中枢神经系统来完成的。在中枢神经系统中，神经元既是学习的基本单位，也是记忆的基本单位。随着神经网络的发展，连接学习目前已形成了多种类型，如比较典型的感知器学习、BP 网络学习和 Hopfield 网络学习等浅层学习方法，以及卷积神经网络学习、深度信念网络学习等深度学习方法。

感知器学习实际上是一种基于纠错学习规则，采用迭代思想，对连接权值和阈值进行不断调整，直到满足结束条件为止的学习算法。BP 网络学习是一种误差反向传播网络学习算法，由输出模式的正向传播过程和误差的反向传播过程所组成。其中，误差的反向传播过程用于修改各层神经元的连接权值，以逐步减少误差信号，直至得到期望的输出模式为止。Hopfield 网络学习实际上是要寻求系统的稳定状态，即从网络的初始状态开始，逐渐向其稳定状态过渡，直至达到稳定状态为止。网络的稳定性则是通过一个能量函数来描述的。深度卷积神经网络学习是一种基于深层卷积神经网络，依据生物学界“感受野”的概念和机理，采用逐层抽象、逐次迭代方式所形成的一种深度学习方法。深度信念网络学习是一种基于深度信念网络的学习方式，深度信念网络则是由多层受限波尔茨曼机再加上一层 BP 网络所构成的一种深层网络结构。

## 3. 知识发现和数据挖掘

知识发现 (knowledge discover) 和数据挖掘 (data mining) 是在庞大的数据库中寻找和提取出人们感兴趣的知识的方法。即通过综合运用统计学、粗糙集、模糊数学、机器学习和专家系统等多种学习手段和方法，从数据库中提炼和抽取知识，从而揭示出蕴涵在这些数据背后的客观世界的内在联系和本质原理，实现知识的自动获取。

传统的数据库技术仅限于对数据库的查询和检索，不能从数据库中提取知识，使得数据库中蕴涵的丰富知识被白白浪费。知识发现和数据挖掘以数据库作为知识源去抽取知识，不仅可以提高数据库中数据的利用价值，也为各种智能系统的知识获取开辟了一条新的途径。目前，随着大规模数据库和互联网的迅速发展，知识发现和数据挖掘已从

面向数据库结构化信息的数据挖掘，发展到面向数据仓库和互联网的海量、半结构化或非结构化信息的数据挖掘。

### 1.5.3 机器感知

机器感知作为机器获取外界信息的主要途径，是人工智能的重要组成部分。下面主要介绍机器视觉、模式识别、自然语言理解。

#### 1. 机器视觉

机器视觉是一门用计算机模拟或实现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，还包括对这些信息的描述、存储、识别与理解。

视觉是人类各种感知能力中最重要的一部分，在人类感知到的外界信息中，约有 80% 以上是通过视觉得到的，正如一句俗语所说：“百闻不如一见”。人类对视觉信息获取、处理与理解的大致过程是：人们视野中的物体在可见光的照射下，先在眼睛的视网膜上形成图像，再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，最后由大脑皮层对其进行处理与理解。可见，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、存储和理解的全过程。

目前，机器视觉已在人类社会的许多领域得到了成功应用。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。

#### 2. 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为模式，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做的定量或结构性描述的集合称为模式。

模式识别就是让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，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，模式识别技术可有不同的识别方法，经常采用的方法有模板匹配法、统计模式法、模糊模式法、神经网络法等。

模板匹配法是把机器中原有的待识别事物的标准模式看成一个典型模板，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。

统计模式法是根据待识别事物的有关统计特征，构造出一些彼此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。统计模式法适合那些不易给出典型模板的待识别事物。例如，对手写体数字的识别，其识别方法是先请很多人来书写同一个字，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。

模糊模式法是模式识别的一种新方法，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。

神经网络法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，首先需要用一组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物进行识别。

### 3. 自然语言处理

自然语言处理（natural language processing）一直是人工智能的一个重要领域，主要研究如何实现人与机器之间进行自然语言有效交流的各种理论和方法，主要包括自然语言理解、机器翻译及自然语言生成等。自然语言是人类进行信息交流的主要媒介，但由于它的多义性和不确定性，使得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。要真正实现人机之间的直接自然语言交流，还有待于自然语言处理研究的突破性进展。

自然语言理解可分为声音语言理解和书面语言理解两大类。其中，声音语言的理解过程包括语音分析、词法分析、句法分析、语义分析和语用分析 5 个阶段；书面语言的理解过程除不需要语音分析外，其他 4 个阶段与声音语言理解相同。自然语言理解的主要困难在语用分析阶段，原因是它涉及上下文知识，需要考虑语境对语意的影响。

机器翻译是指用机器把一种语言翻译成另一种语言。是不同民族和国家之间交流的重要基础，在政治、经济、文化交往中起着非常重要的作用。自然语言生成是指让机器具有像人那样的自然语言表达和写作功能。在自然语言处理方面。尽管目前已取得了很大的进展，如机器翻译、自然语言生成等，但离计算机完全理解人类自然语言的目标还有一定距离。实际上，自然语言处理的研究不仅对智能人机接口有着重要的实际意义，还对不确定性人工智能的研究具有重大的理论价值。

## 1.5.4 机器行为

机器行为作为计算机作用于外界环境的主要途径，也是机器智能的主要组成部分。下面主要介绍智能控制、智能制造。

### 1. 智能控制

智能控制（intelligent control）是指那种无须或需要尽可能少的人工干预，就能独立地驱动智能机器，实现其目标的控制过程。智能控制是一种把人工智能技术与传统自动控制技术相结合，研制智能控制系统的方法和技术。

智能控制系统是指能够实现某种控制任务，具有自学习、自适应和自组织功能的智能系统。从结构上，它由传感器、感知信息处理模块、认知模块、规划与控制模块、执行器、通信接口模块等主要部件组成。其中，传感器用于获取被控制对象的现场信息；感知信息处理模块用于处理由传感器获得的原始控制信息；认知模块根据感知信息处理模块送来的当前控制信息，利用控制知识和经验进行分析、推理和决策；规划和控制模

块根据给定的任务要求和认知模块的决策完成控制动作规划；执行器根据规划和控制模块提供的动作规划去完成相应的动作；通信接口模块实现人机之间的交互和系统中各模块之间的联系。

目前，常用的智能控制方法主要包括模糊控制、神经网络控制、分层递阶智能控制、专家控制和学习控制等。智能控制的主要应用领域包括智能机器人系统、计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing System, CIMS）、复杂工业过程的控制系统、航空航天控制系统、社会经济管理系统、交通运输系统、环保及能源系统等。

## 2. 智能制造

智能制造是指以计算机为核心，集成有关技术，以取代、延伸与强化有关专门人才在制造中的相关智能活动所形成、发展乃至创新的制造。智能制造中采用的技术称为智能制造技术，是指在制造系统和制造过程中的各环节，通过计算机来模拟人类专家的制造智能活动，并与制造环境中人的智能进行柔性集成与交互的各种制造技术的总称。智能制造技术主要包括机器智能的实现技术、人工智能与机器智能的融合技术、多智能源的集成技术。

在实际智能制造模式下，智能制造系统一般为分布式协同求解系统，其本质特征表现为智能单元的“自主性”和系统整体的“自组织能力”。近年来，智能 Agent 技术被广泛应用于网络环境下的智能制造系统开发。

### 1.5.5 计算智能

计算智能（Computational Intelligence, CI）是借鉴仿生学的思想，基于人们对生物体智能机理的认识，采用数值计算的方法去模拟和实现人类的智能。其概念最早于 1992 年由贝兹德克提出，但作为一个统一的学科称呼，则产生于 1994 年在美国召开的首届国际计算智能大会（WCCI'94）。该次会议首次将神经网络、进化计算和模糊系统这三个领域合并在一起，形成了计算智能这个统一的学科概念。

本书考虑到计算智能作为一门学科的结构松散性，以及整个人工智能学科的结构紧凑性，未将计算智能单列一章，而是将其分散到了不同章节。不过，作为全书的概述，这里还是从计算智能的角度对神经计算、进化计算和模糊计算给予简单讨论。

#### 1. 神经计算

神经计算，也称为神经网络（Neural Network, NN），是通过对大量人工神经元的广泛并行互连形成的一种人工神经网络系统，用于模拟生物神经网络的结构和功能。神经计算是一种对人类智能的结构模拟方法，其主要研究内容包括人工神经元的结构和模型，人工神经网络的互连结构和系统模型，基于神经网络的连接学习机制等。

人工神经元是指用人工方法构造的单个神经元，有抑制和兴奋两种工作状态，可以接受外界刺激，也可以向外界输出自身的状态，用于模拟生物神经网络的结构和功能，是人工神经网络的基本处理单元。

人工神经网络的互连结构（或称为拓扑结构）指不同神经元之间的连接模式，是构造神经网络的基础。从互连结构的角度的，神经网络可分为前馈网络和反馈网络两种。人工神经网络模型是对网络结构、连接权值和学习能力的总括。在现有的网络模型中，最常用的有传统的感知器模型、具有误差反向传播功能的 BP 网络模型、采用反馈连接方式的



Hopfield 网络模型，以及具有深层结构的深层卷积神经网络模型、深层波尔茨曼机模型等。

神经网络具有自学习、自组织、自适应、联想、模糊推理等能力，在模仿生物神经计算方面有一定优势。目前，神经计算的研究和应用已渗透到许多领域，如机器学习、专家系统、智能控制、模式识别、计算机视觉、图像处理、视频信息处理、音频信息处理、非线性系统辨识及非线性系统组合优化等。

## 2. 进化计算

进化计算 (Evolutionary Computation, EC) 是一种模拟自然界生物进化过程和机制，进行问题求解的自组织、自适应的随机搜索技术。它以达尔文进化论的“物竞天择，适者生存”作为算法的进化规则，并结合孟德尔的遗传变异理论，将生物进化过程中的繁殖 (reproduction)、变异 (mutation)、竞争 (competition) 和选择 (selection) 引入到了算法中，是一种对人类智能的演化模拟方法。

进化计算主要包括遗传算法 (Genetic Algorithm, GA)、进化策略 (Evolutionary Strategy, ES)、进化规划 (Evolutionary Programming, EP) 和遗传规划 (Genetic Programming, GP) 四大分支。其中，遗传算法是进化计算中最初形成的一种具有普遍影响的模拟进化优化算法。

遗传算法的基本思想是使用模拟生物和人类进化的方法来求解复杂问题：从初始种群出发，采用优胜劣汰、适者生存的自然法则选择个体，并通过杂交、变异来产生新一代种群，如此逐代进化，直到满足目标为止。

## 3. 模糊计算

模糊计算，也称为模糊系统 (Fuzzy System, FS)，通过对人类处理模糊现象的认知能力的认识，用模糊集合和模糊逻辑去模拟人类的智能行为。模糊集合和模糊逻辑是美国加州大学扎德 (Zadeh) 教授提出的一种处理因模糊而引起的不确定性的有效方法。

通常，人们把那种因没有严格边界划分而无法精确刻画的现象称为模糊现象，并把反映模糊现象的各种概念称为模糊概念。例如，人们常说的“大”“小”“多”“少”等都属于模糊概念。

在模糊系统中，模糊概念通常由模糊集合来表示，而模糊集合又是用隶属函数来刻画的。一个隶属函数描述一个模糊概念，其函数值为 $[0, 1]$ 区间的实数，用来描述函数自变量代表的模糊事件隶属该模糊概念的程度。目前，模糊计算已经在推理、控制、决策等方面得到了非常广泛的应用。

### 1.5.6 分布智能

分布式人工智能 (Distributed Artificial Intelligence, DAI) 是随着计算机网络、计算机通信和并发程序设计技术而发展起来的一个新的人工智能研究领域，主要研究在逻辑上或物理上分布的智能系统之间如何相互协调各自的智能行为，实现问题的并行求解。

分布式人工智能的研究目前有两个主要方向：分布式问题求解、多 Agent 系统。分布式问题求解主要研究如何在多个合作者之间进行任务划分和问题求解。多 Agent 系统主要研究如何在一群自主的 Agent 之间进行智能行为的协调，是由多个自主 Agent 组成的一个分布式系统。在这种系统中，每个 Agent 都可以自主运行和自主交互，即当一个

Agent 需要与别的 Agent 合作时，就通过相应的通信机制，去寻找可以合作并愿意合作的 Agent，以共同解决问题。

## 1.5.7 智能系统

智能系统可以泛指各种具有智能特征和功能的软硬件系统。从这种意义上讲，前面讨论的研究内容几乎都能以智能系统的形式来出现，如智能控制系统、智能检索系统等。下面主要介绍一些除上述研究内容外的智能系统，如专家系统和智能决策支持系统。

### 1. 专家系统

专家系统是一种基于知识的智能系统，其基本结构由知识库、数据库、推理机、解释模块、知识获取模块和人机接口六部分组成。其中，知识库是专家系统的知识存储器，用来存放求解问题的领域知识；数据库也称为全局数据库或综合数据库，用来存储有关领域问题的事实、数据、初始状态（证据）和推理过程中得到的中间状态等；推理机是一组用来控制、协调整个专家系统的程序；解释模块以用户便于接受的方式向用户解释自己的推理过程；知识获取模块可为修改知识库中的原有知识和扩充新知识提供相应手段；人机接口主要用于专家系统和外界之间的通信和信息交换。

高级专家系统是日前专家系统发展的主流，是指为了克服传统专家系统的缺陷，引入一些新思想、新技术所得到的新型专家系统，包括分布式专家系统、协同式专家系统、模糊专家系统、神经网络专家系统和基于 Web 的专家系统等。

### 2. 智能决策支持系统

智能决策支持系统（Intelligent Decision Support System, IDSS）是指在传统决策支持系统（Decision Support System, DSS）中增加了相应的智能部件的决策支持系统。它把 AI 技术与 DSS 相结合，综合运用 DSS 在定量模型求解与分析方面的优势，以及 AI 在定性分析与不确定性推理方面的优势，利用人类在问题求解中的知识，通过人机对话的方式，为解决半结构化和非结构化问题提供决策支持。

智能决策支持系统通常由数据库、模型库、知识库、方法库和人机接口等部件组成。目前，实现系统部件的综合集成和基于知识的智能决策是 IDSS 发展的必然趋势，结合数据仓库和 OLAP 技术构造企业级决策支持系统是 IDSS 走向实际应用的重要方向。

## 1.5.8 人工心理和人工情感

在人类神经系统中，智能并不是一个孤立现象，它往往与心理和情感联系在一起。心理学的研究表明，心理和情感会影响人的认知，即影响人的思维，因此在研究人类智能的同时，也应该开展对人工心理和人工情感的研究。

人工心理（artificial psychology）就是利用信息科学的手段，对人的心理活动（重点是人的情感、意志、性格、创造）进行更全面的人工机器（计算机、模型算法）模拟，其目的在于从心理学广义层次上研究情感、情绪与认知，以及动机和情绪的人工机器实现问题。

人工情感（artificial emotion）是利用信息科学的手段对人类情感过程进行模拟、识别和理解，使机器能够产生类人情感，并与人类自然、和谐地进行人机交互的研究领域。

目前，人工情感研究的两个主要领域是情感计算（affective computing）和感性工程学（kansei engineering）。

人工心理和人工情感有着广阔的应用前景，如支持开发具有情感和意识的智能机器人，实现真正意义上的拟人机器研究，使控制理论更接近于人脑的控制模式，人性化的商品设计和市场开发，以及人性化的电子化教育等。

### 1.5.9 人工智能的典型应用

人工智能的应用领域十分广泛，只要有人涉足甚至只要人想涉足的地方，都会有人工智能的用武之地，如智能机器人、智能教育、智能医疗、智能农业、智能金融、智能交通、智能健康、智能商务、智慧城市、智能家居、智能制造、智能政务、智慧法庭、智能国防、智能公安等。作为概述，下面仅简单介绍几个重要领域。

#### 1. 智能机器人

机器人是一种可以自动执行人类指定工作的机器装置。智能机器人则是指具有一定感知、学习、思维和行为能力的机器人。更进一步，还有人把情感也作为智能机器人的一种重要能力，或者把那种具有一定情感功能的智能机器人称为情感机器人。智能机器人既是人工智能的一个重要研究对象和应用领域，也是人工智能研究的一个很好的试验场，几乎所有的人工智能技术都可以在机器人上实现和验证。智能机器人的类型可有多种分类方法，如工业机器人、农业机器人、医疗机器人、军用机器人、服务机器人等。

这里不讨论不同类型智能机器人的个性，主要讨论智能机器人的共性。通常情况下，一个真正的智能机器人应该具有如下功能。

##### （1）环境感知能力

环境感知能力是机器人感知外界环境的必要手段和重要途径，相对于人的感觉器官，智能机器人应具有对视觉、听觉、触觉等信息的感知能力。其实现方法通常是增加相应的传感装置，如摄像机、麦克风、压电元件等。

##### （2）自学习能力

学习能力应该是智能机器人的基本功能，能够将感知到的环境信息加工为知识，以作为机器人思维和环境自适应的基础。

##### （3）思维能力

思维能力是智能机器人智力的主要体现，主要包括推理能力和决策能力。其中，推理是让智能机器人能够利用知识去解决问题，决策是让机器人在现有约束条件下根据推理结果给出行为方案。

##### （4）行为能力

行为能力是指机器人对外界做出反应的能力，相当于人类器官的能力，如走、跑、跳、说、唱等。

##### （5）情感功能

情感功能包括对情感信息的感知、加工和表达。情感作为智慧的重要组成部分，对智能机器人尤其是服务机器人尤为重要。

除以上功能，随着人工智能技术的发展，还需要考虑智能机器人的更多功能，如云

环境下智能机器人之间的协作交互功能，基于自然语言的人机对话交流功能，以及人与机器人之间的和谐交互及协同工作能力等。

## 2. 智能教育

教育是距人工智能最近的一个领域，更是人工智能应用最直接的一个领域。智能教育是指基于现代教育理念利用人工智能技术及现代信息技术所形成的智能化、泛在化、个性化、开放性教育模式。其基本架构可分为硬件环境、支撑条件、教育大脑和智能教育教学活动4个层次，其中教育大脑技术和智能教育教学活动是智能教育的主要内容。

### (1) 教育大脑技术。

教育大脑相当于人类智能的中枢神经系统，在整个智能教育活动中起着指挥和控制的作用。在大数据支撑下的教育大脑技术主要包括：

① 跨媒体感知和理解技术，包括对语音、图像、视频、学习场景等教育教学环境信息的感知、识别与理解，以及对学生学习情绪、情感的感知、识别、理解和引导。

② 机器学习和教育知识库技术，包括教育教学知识获取、表示，以及教育教学知识库构建、维护和使用。

③ 教育教学专家系统技术，包括情感认知交互的教育教学活动知识推理。

④ 教育评价和决策系统技术，包括教学评价、教育评估及预测等。

### (2) 智能教育教学活动

智能教育教学活动处在智能教育的实现和应用层面。在大数据支撑下的智能教育教学活动主要包括智能教学过程、智能教室构建、智能课堂设计，以及智能教学机器人、智能教育管理系统等。

## 3. 智能医疗

医疗事业关系到每个人的生命和健康，是最大的国计民生问题。智能医疗是在现代信息技术的支撑下，利用人工智能的方法和技术提高医疗服务的能力和质量，实现医疗的精准化、个性化和智能化。智能医疗涉及的人工智能技术主要包括机器学习技术、大数据挖掘技术、图像理解技术、知识推理技术、自然语言处理技术、智能机器人技术等。

### (1) 智能诊断

诊断是医疗的首要环节，医生通常是观察到的患者的症状，利用自己的医学知识和诊断经验对病状做出主观判断，并给出相应的治疗方案。但由于种种原因，医生的判断通常存在一定的局限性。智能诊断就是利用人工智能技术，基于海量医疗数据，通过对患者自身的个性化分析，利用机器推理和决策技术给出疾病诊断结果，或者利用图像理解、深度学习等方法给出对各种医学影像资料的分析结果等。

### (2) 智能治疗

治疗是解除患者疾病的必要环节。智能治疗是利用智能医疗设备进行个性化的精准治疗。比较典型的智能治疗设备有手术机器人、可穿戴治疗设备及智能治疗机器人等。

### (3) 智能诊疗设备

利用人工智能的感知、理解、分析、决策技术，研发新的智能诊疗设备，提升现有诊疗设备的智能水平和智能化程度，也是智能医疗的一个重要方面。例如，增加CT、核磁、X光、B超等医学影像设备的后端再处理能力和分析理解能力，增加多种医学影像设备检查结果之间的配准和融合分析能力等。

#### (4) 智能医疗数据管理

医疗健康领域的数据量非常庞大，并具备大数据的各种特征。对医疗大数据的管理和利用主要包括以下几方面。① 通过对各种多来源、多模态数据的整合，形成健康大数据，让每个人都有自己的电子健康档案；② 利用大规模机器学习、大数据分析挖掘、跨媒体感知理解、多模态自动推理、群专家协同决策等技术，实现对医疗大数据的有效利用；③ 利用人工智能技术和物联网、传感网、移动互联等技术，实现大众健康全过程、医院医疗全过程，以及医药研发、生产、流通、使用全过程的有效监控和管理。

### 4. 智能农业

农业是国计民生的头等大事，改进农业生产的传统方式，发展智能农业，是我国农业发展的必经之路。智能农业是指以知识为核心要素，将人工智能和现代信息技术应用于农业生产全过程所形成的一种全新的农业生产方式。其目标是实现农业生产全过程的信息感知、定量决策、智能控制、精准投入和个性化服务。

智能农业涉及的人工智能技术主要有大数据分析挖掘、图像分析理解、深度强化学习、智能农业机器人、智能人机对话交流等。其主要研究领域如下。

#### (1) 农业智能感知

农业智能感知是智能农业的必要基础和首要环节，利用智能感知、无线传感技术等获取农业生产过程和农作物种植、栽培、生长、收获、存储、流通等全过程的环境信息和实时数据，形成天地空一体、产供销结合的农业大数据，以支撑智能农业全过程的信息加工和数据分析挖掘需求。

#### (2) 农业智能控制和田间自主作业

利用人工智能、智能机器人等技术，实现农业生产过程的智能控制和田间操作的自主作业，可极大地解放劳动生产力、提高农业精准化水平，是智能农业的核心技术。实现农业智能控制和田间自主作业的关键技术主要包括农业智能化装备和农业智能机器人。其中，农业智能机器人可根据田间作业的不同类型，划分为采摘机器人、除草机器人、施肥机器人、喷药机器人、收割机器人等。研究具有多种田间作业功能的田间综合作业智能机器人应该是农业智能机器人技术发展的一个重要方向。

#### (3) 农业大数据分析与服务

基于农业智能感知所形成的农业大数据，利用大数据分析挖掘技术及大规模机器学习技术，建立农业大数据决策分析系统，可支持智能农业全过程的定量决策、精准投入和个性化服务，也是智能农业的重要组成部分。

#### (4) 农业智能技术集成与应用

集成农业智能感知、农业智能控制、农业智能机器人、田间自主作业及农业大数据分析与服务等技术，建立智能农场、智能牧场、智能渔场、智能果园、智能温室、智能养殖场、农产品加工智能车间、农产品绿色智能供应链等技术集成系统，是智能农业一种社会呈现形式，具有极大的研究价值和广阔的应用前景。

## 习题 1

### 1.1 什么是智能？智能包含哪几种能力？

- 1.2 人类有哪几种思维方式？各有什么特点？
- 1.3 什么是人工智能？它的研究目标是什么？
- 1.4 什么是图灵实验？图灵实验说明了什么？
- 1.5 人工智能的发展经历了哪几个阶段？
- 1.6 人工智能研究的基本内容有哪些？
- 1.7 人工智能有哪几个主要学派？各自的特点是什么？
- 1.8 人工智能有哪些主要研究和应用领域？其中哪些是新的研究热点？
- 1.9 人工智能的典型应用有哪些？请谈谈自己的看法。