

人工智能

人工智能

1.1 人工智能的定义与发展

1.1.1 人工智能的定义

1.1.2 人工智能的起源与发展

1. 孕育时期(1956年前)
2. 形成时期(1956-1970年)
3. 暗淡时期(1966-1974年)
4. 知识应用时期(1970—1988年)
5. 集成发展时期(1986年至今)

1.2 人工智能的各种认知观

1.2.1 人工智能各学派的认知观

1. 符号主义
2. 连接主义
3. 行为主义

1.2.2 人工智能的争论

1. 对人工智能理论的争论
2. 对人工智能方法的争论

1.3 人工智能系统的分类

1. 专家系统
2. 模糊系统
3. 神经网络系统
4. 学习系统
5. 仿生系统
6. 群智能系统
7. 多真体系统
8. 混合智能系统

1.4 人工智能研究的基本内容

1. 认知建模
2. 知识表示
3. 知识推理
4. 知识应用
5. 机器感知
6. 机器思维
7. 机器学习
8. 机器行为
9. 智能系统构建

1.5 人工智能的计算方法

1.6 人工智能的研究与应用领域

- 1.6.1 问题求解与博弈
- 1.6.2 逻辑推理与定理证明
- 1.6.3 计算智能
- 1.6.4 分布式人工智能与Agent
- 1.6.5 自动程序设计
- 1.6.6 专家系统
- 1.6.7 机器学习
- 1.6.8 自然语言理解
- 1.6.9 机器人学
- 1.6.10 模式识别
- 1.6.11 机器视觉
- 1.6.12 神经网络
- 1.6.13 智能控制
- 1.6.14 智能调度与指挥
- 1.6.15 智能检索
- 1.6.16 系统与语言工具

1.1 人工智能的定义与发展

1.1.1 人工智能的定义

相比于天然河流，人工开凿的叫做运河。相比于天然卫星，人类制造的叫人造卫星。人工智能本质上有别于自然智能，是一种由人工手段模仿的 **人工智能**。

人类的自然只能伴随着人类活动时处处存在，人类的许多活动如下棋、竞技、解答题，甚至开车骑自行车都需要只能。如果机器能够执行这种任务，就可以认为机器已经具备了某种性质的“人工智能”。

1.1.2 人工智能的起源与发展

不妨按时期来说明国际人工智能的发展过程，尽管这种时期划分方法有时难以严谨，因为许多事件可能跨接不同时期，另外一些事件虽然时间相隔甚远但又可能密切相关。

1. 孕育时期(1956年前)

人类对智能机器和人工智能的梦想和追求可以追溯到三千多年前。早在我国西周时代（公元前1066—前771年），就流传有关巧匠偃师献给周穆王一个歌舞艺伎的故事。作为第一批自动化动物之一的能够飞翔的木鸟是在公元前400年—前350年间制成的。在公元前2世纪出现的书籍中，描写过一个具有类似机器人角色的机械化剧院，这些人造角色能够在宫廷仪式上进行舞蹈和列队表演。我国东汉时期（公元25—220年），张衡发明的指南车是世界上最早的机器人雏形。我们打算列举三千多年来人类在追梦智能机器和人工智能道路上的万于遐想、实践和成果，而是跨越三千年转到20世纪。时代思潮直接帮助科学家去研究某些现象。对于人工智能的发展来说，20世纪30年代和40年代的智能界，发生了两件最重要的事：数理逻辑（它从19世纪末起就获得迅速发展）和关于计算的新思想。弗雷治(Frege)怀特赫德(Whitehead)、罗素(Russell)和塔斯基(Tarski)以及另外一些人的研究表明，推理的某些方面可以用比较简单的结构加以形式化。1913年，年仅19岁的维纳(Wiener)在他的论文中把数理关系理论简化为类理论，为发展数理逻辑作出贡献，并向机器逻辑迈进一步，与后来图灵(Turing)提出的逻辑机不谋而合。1948年维纳创立的控制论(cybernetics)，对人工智能的早期思潮产生了重要影响，后来成为人工智能行为主义学派。数理逻辑仍然是人工智能研究的一个活跃领域，其部分原因是由于一些逻辑演绎系统已经在计算机上实现过。不过，即使在计算机出现之前，逻辑推理的数学公式就为人们建立了计算与智能关系的概念。

丘奇(Church)、图灵和其他一些人关于计算本质的思想，提供了形式推理概念与即将发明的计算机之间的联系。在这方面的一个重要工作是关于计算和符号处理的理论概念。1936年，年仅26岁的图灵创立了自动机理论（后来人们又称为图灵机），提出一个理论计算机模型，为电子计算机设计奠定了基础，促进了人工智能，特别是思维机器的研究。第一批数字计算机（实际上为数字计算器）看来不包含任何真实智能。早在这些机器设计之前，丘奇和图灵就已发现，数字并不是计算的主要方面，它们仅仅是一种解释机器内部状态的方法。被称为人工智能之父的图灵，不仅创造了一个简单、通用的非数字计算模型，而且直接证明了计算机可能以某种被理解为智能的方法工作。

事过20年之后，道格拉斯·霍夫施塔特(Douglas Hofstadter)在1979年写的《永恒的金带》(An Eternal Golden Braid)一书对这些逻辑和计算的思想以及它们与人工智能的关系给予了透彻而又引人入胜的解释。

麦卡洛克(McCulloch)和皮茨(Pitts)于1943年提出的“拟脑机” (mindlike machine) 是世界上第一个神经网络模型（称为MP模型），开创了从结构上研究人类大脑的途径。神经网络连接机制，后来发展为人工智能连接主义学派的代表。

值得一提的是控制论思想对人工智能早期研究的影响。正如艾伦·纽厄尔(Allen Newell)和赫伯特·西蒙(Herbert Simon)在他们的优秀著作《人类问题解决》(Human Problem Solving)的“历史补篇”中指出的那样，20世纪中叶人工智能的奠基者们在人工智能研究中出现了几股强有力的思潮。维纳、麦卡洛克和其他一些人提出的控制论和自组织系统的概念集中讨论了“局部简单”系统的宏观特性。尤其重要的是，1948年维纳发表的《控制论关于动物与机器中的控制与通信的科学》，不但开创了近代控制论，而且为人工智能的控制论学派（即行为主义学派）树立了新的里程碑。控制论影响了许多领域，因为控制论的概念跨接了许多领域，把神经系统的工作原理与信息理论、控制理论、逻辑以及计算联系起来。控制论的这些思想是时代思潮的一部分，而且在许多情况下影响了许多早期和近期人工智能工作者，成为他们的指导思想。

从上述情况可以看出，人工智能开拓者在数理逻辑、计算本质、控制论、信息论、自动机理论、神经网络模型和电子计算机等方面做出的创造性贡献，奠定了人工智能发展的理论基础，孕育了人工智能的胎儿。人们将很快听到人工智能婴儿呱呱坠地的哭声，看到这个宝贝降临人间的可爱身影！

2. 形成时期(1956-1970年)

到20世纪50年代,人工智能已躁动于人类科技社会的母胎,即将分娩。1956年夏季,由年轻的美国数学家和计算机专家麦卡锡(McCarthy)、数学家和神经学家明斯基(Minsky)、IBM 公司信息中心主任朗彻斯特(Loch ester)以及贝尔实验室信息部数学家

和信息学家香农(Shannon)共同发起,邀请IBM 公司莫尔(More)和塞缪尔(Samuel)、MIT 的塞尔夫里奇(Selfridge)和索罗蒙夫(Solomonoff),以及兰德公司和CMU 的纽厄尔和西蒙共10人,在美国的达特茅斯(Dartmouth)大学举办了一次长达两个月的十人研讨

会,认真热烈地讨论用机器模拟人类智能的问题。会上,由麦卡锡提议正式使用“人工智能”这一术语。这是人类历史上第一次人工智能研讨会,标志着人工智能学科的诞生,具有十分重要的历史意义。这些从事数学、心理学、信息论、计算机科学和神经学研究

的杰出年轻学者,后来绝大多数都成为著名的人工智能专家,为人工智能的发展作出了重要贡献。

最终把这些不同思想连接起来的是由巴贝奇(Babbage)图灵、冯·诺依曼(von Neumann)和其他一些人所研制的计算机本身。在机器的应用成为可行之后不久,人们就开始试图编写程序以解决智力测验难题、数学定理和其他命题的自动证明,下棋以及把文本从一种语言翻译成另一种语言。这是第一批人工智能程序。对计算机来说,促使人工智能发展的是什么?是出现在早期设计中的许多与人工智能有关的计算概念,包括存储器和处理器的概念、系统和控制的概念,以及语言的程序级别的概念。不过,引起新学科出现的新机器的唯一特征是这些机器的复杂性,它促进了对描述复杂过程方法的新的更直接的研究(采用复杂的数据结构和具有数以百计的不同步骤的过程来描述这些方法)。

1965年,被誉为“专家系统和知识工程之父”的费根鲍姆(Feigenbaum)所领导的研究小组,开始研究专家系统,并于1968年研究成功第一个专家系统DENDRAL,用于质谱仪分析有机化合物的分子结构。后来又开发出其他一些专家系统,为人工智能的应用研究做出了开创性贡献。

1969年召开了第一届国际人工智能联合会议(International Joint Conference on AI,IJCAI),标志着人工智能作为一门独立学科登上国际学术舞台。此后,IJCAI每两年召开一次。1970年《人工智能国际杂志》(International Journal of AI)创刊。这些事件对开展人工智能国际学术活动和交流、促进人工智能的研究和发展起到了积极作用。

上述事件表明,人工智能经历了从诞生到成人的热烈(形成)期,已成为一门独立学科,为人工智能建立了良好的环境,打下了进一步发展的重要基础。虽然人工智能在前进的道路上仍将面临不少困难和挑战,但是有了这个基础,就能够迎接挑战,抓住机遇,推动人工智能不断发展。

3. 暗淡时期(1966-1974年)

在形成期和后面的知识应用期之间,交叠地存在一个人工智能的暗淡(低潮)期。在取得“热烈”发展的同时,人工智能也遇到一些困难和问题。一方面,由于一些人工智能研究者被“胜利冲昏了头脑”,盲目乐观,对人工智能的未来发展和成果做出了过高的预言,而这些预言的失败,给人工智能的 **声誉造成重大伤害**。同时,许多人工智能理论和方法未能得到通用化和推广应用,专家系统也尚未获得广泛开发。因此,看不出人工智能的重要价值。追究其因,当时的人工智能主要存在下列三个局限性:

- **知识局限性**。早期开发的人工智能程序包含太少的主题知识,甚至没有知识,而且只采用简单的句法处理。例如,对于自然语言理解或机器翻译,如果缺乏足够的专业知识和常识,就无法正确处理语言,甚至会产生令人啼笑皆非的翻译。
- **解法局限性**。人工智能试图解决的许多问题因其求解方法和步骤的局限性,往往使得设计的程序在实际上无法求得问题的解答,或者只能得到简单问题的解答,而这种简单问题并不需要人工智能的参与。
- **结构局限性**。用于产生智能行为的人工智能系统或程序存在一些基本结构上的严重局限,如没有考虑不良结构,无法处理组合爆炸问题,因而只能用于解决比较简单的问题,影响到推广应用。

另一方面,科学技术的发展对人工智能提出新的要求甚至挑战。例如,当时认知生理学研究发现,人类大脑含有 **1011 个以上神经元**,而人工智能系统或智能机器在现有技术条件下无法 **从结构上模拟大脑的功能**。此外,哲学、心理学、认知生理学和计算机科学各学术界,对人工智能的本质、理论和应用各方面,一直抱有怀疑和批评,也使人工智能四面楚歌。例如,1971年英国剑桥大学数学家詹姆斯(James)按照英国政府的旨意,发表一份关于人工智能的综合报告,声称 **“人工智能不是骗局,也是庸人自扰”**。在这个报告影响下,英国政府削减了人工智能研究经费,解散了人工智能研究机构。在人工智能的发源地美国,连在人工智能研究方面颇有影响的IBM,也被迫取消了该公司的所有人飞智能研究。人工智能研究在世界范围内陷入困境,处千低潮,由此可见一斑。

任何事物的发展都不可能一帆风顺,冬天过后,春天就会到来。通过总结经验教训,开展更为广泛、深入和有针对性的研究,人工智能必将走出低谷,迎来新的发展时期。

4. 知识应用时期(1970—1988 年)

费根鲍姆(Feigenbaum) 研究小组自1965 年开始研究专家系统, 并于1968 年研究成功第一个 **专家系统 DENDRAL**。1972-1976 年, 他们又开发成功MYCIN 医疗专家系统, 用于抗生素药物治疗。此后, 许多著名的专家系统, 如斯坦福国际人工智能研究中心

的杜达(Duda) 开发的PROSPECTOR 地质勘探专家系统, 拉特格尔大学的CASNET 青光眼诊断治疗专家系统, MIT 的MACSYMA 符号积分和数学专家系统, 以及RI 计算机结构设计专家系统、**ELAS 钻井数据分析专家系统**和**ACE 电话电缆维护专家系统**等被相继开发, 为**工矿数据分析处理、医疗诊断、计算机设计、符号运算等提供了强有力的工具**。在**1977 年举行的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) 的概念**, 并预言20 世纪80 年代将是专家系统蓬勃发展的时代。

事实果真如此, 整个80 年代, 专家系统和知识工程在全世界得到迅速发展。专家系统为企业等用户赢得了巨大的经济效益。例如, 第一个成功应用的商用专家系统RI,1982 年开始在美国数字装备集团公司(DEC) 运行, 用于进行新计算机系统的结构设计。到1986 年, RI 每年为该公司节省400 万美元。到1988 年, DEC 公司的人工智能团队开发了40 个专家系统。更有甚者, 杜珀公司已使用 **100 个专家系统**, 正在开发500 个专家系统。几乎每个美国大公司都拥有自己的人工智能小组, 并应用专家系统或投资专家系统技术。20 世纪80 年代, 日本和西欧也争先恐后地投入对专家系统的智能计算机系统的开发, 并应用于工业部门。其中, 日本1981 年发布的“第五代智能计算机计划”就是一例。在开发专家系统过程中, 许多研究者获得共识, 即人工智能系统是一个知识处理系统, 而知识表示、知识利用和知识获取则成为人工智能系统的三个基本问题。

5. 集成发展时期(1986 年至今)

到20 世纪80 年代后期, 各个争相进行的智能计算机研究计划先后遇到严峻挑战和困难, 无法实现其预期目标。这促使人工智能研究者们对已有的人工智能和专家系统思想和方法进行反思。已有的专家系统存在缺乏常识知识、应用领域狭窄、知识获取困难、推理机制单一、未能分布处理等问题。他们发现, 困难反映出人工智能和知识工程的一些根本问题, 如交互问题、扩展问题和体系问题等, 都没有很好解决。对存在问题的探讨和对基本观点的争论, 有助于人工智能摆脱困境, 迎来新的发展机遇。

人工智能应用技术应当以知识处理为核心, 实现软件的智能化。知识处理需要对应用领域和问题求解任务有深入的理解, 扎根于主流计算环境。只有这样, 才能促使人工智能研究和应用走上持续发展的道路。

20 世纪80 年代后期以来, **机器学习**、**计算智能**、**人工神经网络** 和 **行为主义** 等研究的深入开展, 不时形成高潮。有别于 **符号主义的连接主义和行为主义的人工智能学派** 也乘势而上, 获得新的发展。不同人工智能学派间的争论推动了人工智能研究和应用的进一步发展。以**数理逻辑**为基础的符号主义, 从命题逻辑到谓词逻辑再至多值逻辑, 包括模糊逻辑和粗糙集理论, 已为人工智能的形成和发展做出历史性贡献, 并已超出传统符号运算的范畴, 表明符号主义在发展中不断寻找新的理论、方法和实现途径。传统人工智能(我们称之为AI) 的数学计算体系仍不够严格和完整。除了模糊计算外, 近年来, 许多**模仿人脑思维、自然特征和生物行为的计算方法(如神经计算、进化计算、自然计算、免疫计算和群计算等)** 已被引入人工智能学科。我们把这些有别于传统人工智能的智能计算理论和方法称为 **计算智能(computational intelligence, CI)**。计算智能弥补了传统AI 缺乏数学理论和计算的不足, 更新并丰富了人工智能的理论框架, 使人工智能进入一个新的发展时期。人工智能不同观点、方法和技术的集成, 是人工智能发展所必需, 也是人工智能发展的必然。

在这个时期, 特别值得一提的是**神经网络的复兴和智能真体(intelligent agent)** 的突起。麦卡洛克和皮茨1943 年提出的“**似脑机器**”, 构造了一个表示大脑基本组成的神经元模型。由于当时神经网络的局限性, 特别是硬件集成技术的局限性, 使人工神经网络研究在20 世纪70 年代进入低潮。直到1982 年霍普菲尔德(C Hopfield) 提出离散神经网络模型, 1984 年又提出连续神经网络模型, 促进了人工神经网络研究的复兴。布赖森(Bryson) 和何(He) 提出的反向传播(BP) 算法及鲁梅尔哈特(Rumelhart) 和麦克莱伦德(C McClelland) 1986 年提出的并行分布处理(PDP) 理论是人工神经网络研究复兴的真正推动力, 人工神经网络再次出现研究热潮。1987 年在美国召开了第一届神经网络国际会议, 并发起成立了国际神经网络学会(INNS)。这表明神经网络已置身于国际信息科技之林, 成为人工智能的一个重要子学科。如果人工神经网络硬件能够在大规模集成上取得突破, 那么其作用不可估试。现在, 对神经网络的研究出现了21 世纪以来的一次高潮, 特别是基于神经网络的机器学习获得很大发展。近10 年来, 深度学习(deep learning) 的研究逐步深入, 并已在自然语言处理和人机博弈等领域获得比较广泛的应用。在深度学习的基础上, 一种称为“**超限学习(extreme learning)**”的机器学习方法在近几年得到越来越多的应用。这些研究成果活跃了学术氛围, 推动了机器学习的发展。

智能真体(以前称为智能主体) 是20 世纪90 年代随着网络技术特别是计算机网络通信技术的发展而兴起的, 并发展为人工智能又一个新的研究热点。人工智能的目标就是要建造能够表现出一定智能行为的真体, 因此, 真体(agent) 应是人工智能的一个核心问题。人们在人工智能研究过程中逐步认识到, 人类智能的本质是一种具有社会性的智能, 社会问题特别是复杂问题的解决需要各方面人员共同完成。人工智能, 特别是比较复杂的人工智能问题的求解也必须各个相关个体协商、协作和协调来完成的。人类社会中的基本个体“人”对应于人工智能系统中的基本组元“真体”, 而社会系统所对应的人工、智能“多真体系统”也就成为人工智能新的研究对象。

产业的提质改造与升级、智能制造和服务民生的需求，促进机器人学向智能化方向发展，一股机器人化的新热潮正在全球汹涌澎湃，席卷全世界。智能机器人已成为人工智能研究与应用的一个蓬勃发展的新领域。

人工智能已获得越来越广泛的应用，深入渗透到其他学科和科学技术领域，为这些学科和领域的发展作出不可没的贡献，并为人工智能理论和应用研究提供新的思路与借鉴。例如，对生物信息学、生物机器人学和基因组的研究就是如此。

上述这些新出现的人工智能理论、方法和技术，其中包括人工智能三大学派，即符号主义、连接主义和行为主义，已不再是单枪匹马打天下，而往往是携手合作，走综合集成、优势互补、共同发展的康庄大道。人工智能学界那种势不两立的激烈争论局面，可能一去不复返了。我们有理由相信，人工智能工作者一定能够抓住机遇，不负众望，创造更多更大的新成果，开创人工智能发展的新时期。

我国的人工智能研究起步较晚。纳入国家计划的研究(“智能模拟”)始于1978年；1984年召开了智能计算机及其系统的全国学术讨论会；1986年起把智能计算机系统、智能机器人和智能信息处理(含模式识别)等重大项目列入国家高技术研究计划；1993年起，又把智能控制和智能化等项目列入国家科技攀登计划。进入21世纪后，已有更多的人工智能与智能系统研究获得各种基金计划支持，并与国家国民经济和科技发展的重大需求相结合，力求作出更大贡献。1981年起，相继成立了中国人工智能学会(CAAI)及智能机器人专业委员会和智能控制专业委员会、全国高校人工智能研究会、中国计算机学会人工智能与模式识别专业委员会、中国自动化学会模式识别与机器智能专业委员会、中国软件行业协会人工智能协会以及智能化专业委员会等学术团体。在中国人工智能学会归属中国科学技术协会直接领导和管理之后，又有一些省市成立了地方人工智能学会，推动了我国人工智能的发展。1989年首次召开了中国人工智能控制联合会议(CJCAI)。已有约60部国内编著的具有知识产权的人工智能专著和教材出版，其中，本书就已出版发行40多万册。1982年创刊《人工智能学报》杂志，《模式识别与人工智能》杂志和《智能系统学报》分别于1987年和2006年创刊。《智能技术学报》英文版即将创刊。2006年8月，中国人工智能学会联合兄弟学会和有关部门，在北京举办了包括人工智能国际会议和中国象棋人机大战等在内的“庆祝人工智能学科诞生50周年”大型庆祝活动，产生了很好的影响。今年4月又在北京举行《全球人工智能技术大会暨人工智能60周年纪念活动启动仪式》，隆重而热烈地庆祝国际人工智能学科诞生60周年。2009年，中国人工智能学会牵头组织，向国家学位委员会和国家教育部提出“设置‘智能科学与技术’学位授权一级学科”的建议，为我国人工智能和智能科学学科建设不遗余力，意义深远。2015年在中国最热门的话题和产业应该是机器人学，中国机器人学的磅礴热潮推动世界机器人产业的新一轮竞争与发展。2016年中国最为引人注目的科技应是人工智能，并出现了发展人工智能及其产业的新潮。中国的人工智能工作者，已在人工智能领域取得许多具有国际领先水平的创造性成果。其中，尤以吴文俊院士关于几何定理证明的“吴氏方法”最为突出，已在国际上产生了重大影响，并荣获2001年国家科学技术最高奖。现在，我国已有数以万计的科技人员和大学师生从事不同层次的人工智能研究与应用，人工智能研究已在我国深入开展，它必将为促进其他学科的发展和我国的现代化建设做出新的重大贡献。

1.2 人工智能的各种认知观

目前人工智能的主要学派有下列3家：

- (1) 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)，其原理主要为物理符号系统假设和有限合理性原理。
- (2) 连接主义(connectionism)，又称为仿生学派(bionicsism)或生理学派(physiologism)，其原理主要为神经网络及神经网络间的连接机制与学习算法。
- (3) 行为主义(actionism)，又称进化主义(evolutionism)或控制论学派(cyberneticsism)，其原理为控制论及感知-动作型控制系统。

1.2.1 人工智能各学派的认知观

人工智能各学派对人工智能发展历史具有不同的看法。

1. 符号主义

符号主义认为人工智能源于**数理逻辑**。数理逻辑从19世纪末起就获迅速发展；到20世纪30年代开始用于描述智能行为。计算机出现后，又在计算机上实现了逻辑演绎系统。其有代表性的成果为启发式程序LT（逻辑理论家），证明了38条数学定理，表明了可以**应用计算机研究人的思维过程**，**模拟人类智能活动**。正是这些符号主义者，早在1956年首先采用“人工智能”这个术语。后来又发展了启发式算法-专家系统-知识工程理论与技术，并在20世纪80年代取得很大发展。符号主义曾长期一枝独秀，为人工智能的发展作出重要贡献，尤其是专家系统的成功开发与应用，为人工智能走向工程应用和实现理论联系实际具有特别重要的意义。在人工智能的其他学派出现之后，符号主义仍然是人工智能的主流学派。这个学派的代表人物有纽厄尔、肖、西蒙和尼尔逊(Nilsson)等。

2. 连接主义

连接主义认为人工智能源于**仿生学**，特别是人脑模型的研究。它的代表性成果是1943年由生理学家麦卡洛克和数理逻辑学家皮茨创立的脑模型，即MP模型，开创了**用电子装置模仿人脑结构和功能的新途径**。它从神经元开始进而研究神经网络模型和脑模型，开辟了人工智能的又一发展道路。20世纪60-70年代，连接主义，尤其是对以感知机(perceptron)为代表的脑模型的研究曾出现过热潮。由于当时的理论模型、生物原型和技术条件的限制，脑模型研究在70年代后期至80年代初期落入低潮。直到前述Hopfield教授在1982年和1984年发表两篇重要论文，提出用硬件模拟神经网络后，连接主义又重新抬头。1986年鲁梅尔哈特等人提出**多层网络中的反向传播(BP)算法**。此后，连接主义势头大振，从模型到算法，从理论分析到工程实现，为神经网络计算机走向市场打下基础。现在，对ANN的研究热情仍然较高，但研究成果未能如预想的那样好。

3. 行为主义

行为主义认为人工智能源于**控制论**。控制论思想早在20世纪40—50年代就成为时代思潮的重要部分，影响了早期的人工智能工作者。维纳和麦克洛(McCloe)等人提出的控制论和自组织系统以及钱学森等人提出的工程控制论和生物控制论，影响了许多领域。**控制论把神经系统的工作原理与信息理论、控制理论、逻辑以及计算机联系起来**。早期的研究重点是模拟人在控制过程中的智能行为和作用，如对自寻优、自适应、自校正、自镇定、自组织和自学习等控制论系统的研究，并进行“控制论动物”的研制。到60—70年代，上述这些控制论系统的研究取得一定进展，播下智能控制和智能机器人的种子，并在80年代诞生了**智能控制和智能机器人系统**。行为主义是20世纪末才以人工智能新学派的面孔出现的，引起许多人的兴趣。这一学派的代表作首推布鲁克斯(Brooks)的六足行走机器人，它被看作新一代的“控制论动物”，是一个基于感知—动作模式的模拟昆虫行为的控制系统。

以上三个人工智能学派将长期共存与合作，取长补短，并走向融合和集成，为人工智能的发展做出贡献。

1.2.2 人工智能的争论

1. 对人工智能理论的争论

人工智能各学派对于AI的基本理论问题，诸如定义、基础、核心、要素、认知过程、学科体系以及人工智能与人类智能的关系等，均有不同观点。

- **(1) 符号主义**

符号主义认为**人的认知基元是符号，而且认知过程即符号操作过程**。它认为**人是一个物理符号系统**，计算机也是一个物理符号系统，因此，我们就能够用计算机来模拟人的智能行为，即用计算机的符号操作来模拟人的认知过程。也就是说，人的思维是可操作的。它还认为，知识是信息的一种形式，是构成智能的基础。人工智能的核心问题是知识表示、知识推理和知识运用。知识可用符号表示，也可用符号进行推理，因而有可能建立起基于知识的人类智能和机器智能的统一理论体系。

- **(2) 连接主义**

连接主义认为人的**思维基元是神经元，而不是符号处理过程**。它对物理符号系统假设持反对意见，认为人脑不同于电脑，并提出连接主义的大脑工作模式，用于取代符号操作的电脑工作模式。

- **(3) 行为主义**

行为主义认为智能取决于感知和行动（所以被称为行为主义），提出智能行为的“感知—动作”模式。行为主义者认为**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一样逐步进化**（所以称为进化主义）；智能行为只能在现实世界中与周围环境交互作用而表现出来。行为主义还认为：**符号主义（还包括连接主义）对真实世界客观事物的描述及其智能行为工作模式是过于简化的抽象，因而是不能真实地反映客观存在的。**

2. 对人工智能方法的争论

不同人工智能学派对人工智能的研究方法问题也有不同的看法。这些问题涉及：人工智能是否一定采用模拟人的智能的方法？若要模拟又该如何模拟？对结构模拟和行为模拟、感知思维和行为、对认知与学习以及逻辑思维和形象思维等问题是否应分离研究？是否有必要建立人工智能的统一理论系统？若有，又应以什么方法为基础？

- **(1) 符号主义**

符号主义认为人工智能的研究方法应为功能模拟方法。通过分析人类认知系统所具备的功能和机能，然后用计算机模拟这些功能，实现人工智能。符号主义力图用数学逻辑方法来建立人工智能的统一理论体系，但遇到不少暂时无法解决的困难，并受到其他学派的否定。

- (2) 连接主义

连接主义主张人工智能应着重于结构模拟，即模拟人的生理神经网络结构，并认为功能、结构和智能行为是密切相关的。不同的结构表现出不同的功能和行为。已经提出多种人工神经网络结构和众多的学习算法。

- (3) 行为主义

行为主义认为人工智能的研究方法应采用行为模拟方法，也认为功能、结构和智能行为是不可分的。不同行为表现出不同功能和不同控制结构。行为主义的研究方法也受到其他学派的怀疑与批判，认为行为主义最多只能创造出智能昆虫行为，而无法创造出人的智能行为。

1.3 人工智能系统的分类

分类学与科学学研究科学技术学科的分类问题，本是十分严谨的学问，但对于一些新学科却很难确切地对其进行分类或归类。例如，至今多数学者把人工智能看作计算机科学的一个分支；但从科学长远发展的角度看，人工智能可能要归类于智能科学的一个分支。智能系统也尚无统一的分类方法，下面按其作用原理可分为下列几种系统。

1. 专家系统

专家系统(expert system, ES) 是人工智能和智能系统应用研究最活跃和最广泛的领域之一。自从1965年第一个专家系统 **DENDRAL** 在美国斯坦福大学问世以来，经过20年的研究开发，到20世纪80年代中期，**各种专家系统**已遍布各个专业领域，取得很大的成功。现在，专家系统得到更为广泛的应用，并在应用开发中得到进一步发展。

专家系统是把专家系统技术和方法，尤其是工程控制论的反馈机制有机结合而建立的。专家系统已广泛应用**于故障诊断、工业设计和过程控制**。专家系统一般由知识库、推理机、控制规则集和算法等组成。专家系统所研究的问题一般具有不确定性，是以模仿人类智能为基础的。

2. 模糊系统

扎德(L. Zadeh) 于1965年提出的**模糊集合理论成为处理现实世界各类物体的方法，意味着模糊逻辑技术的诞生**。此后，对模糊集合和模糊控制的理论研究和实际应用获得广泛开展。1965-1975年间，扎德对许多重要概念进行研究，包括**模糊多级决策、模糊近似关系、模糊约束和语言学界限**等。此后10年许多数学结构借助模糊集合实现模糊化。这些数学结构涉及逻辑、关系、函数、图形、分类、语法、语言、算法和程序等。

模糊系统是一类应用模糊集合理论的智能系统。模糊系统的价值可从两个方面来考虑。一方面，模糊系统提出一种新的机制用于实现基于知识（规则）甚至语义描述的表示、推理和操作规律。另一方面，模糊系统为非线性系统提出一个比较容易的设计方法，尤其是当系统含有不确定性而且很难用常规非线性理论处理时，更是有效。模糊系统已经获得十分广泛的应用。

3. 神经网络系统

人工神经网络(artificial neural networks, ANN) 研究的先锋麦卡洛克(McCulloch)和皮茨(Pitts) 曾于1943年提出一种叫做“似脑机器”(mindlike machine) 的思想，这种机器可由**基于生物神经元特性的互连模型来制造**；这就是神经学网络的概念。到了20世纪70年代，格罗斯伯格(Grossberg) 和科霍恩(Kohonen) 以生物学和心理学证据为基础，提出几种具有新颖特性的非线性动态系统结构和自组织映射模型。沃博斯(Werbos) 在70年代开发一种反向传播算法。霍普菲尔德在神经元交互作用的基础上引入一种递归型神经网络（霍普菲尔德网络）。在80年代中叶，作为一种前馈神经网络的学习算法，帕克(Parker) 和鲁姆尔哈特(Rumelhart) 等重新发现了反回传播算法。近十年来，深度学习网络得到深入研究和广泛应用。AlphaGo 国际围棋程序的核心就是深度学习。现在神经网络已在从家用电器到工业对象的广泛领域找到其用武之地，主要应用涉及模式识别、图像处理、自动控制、机器人、信号处理、管理、商业、医疗和军事等领域。

4. 学习系统

学习(learning) 是一个非常普遍的术语，人和计算机都通过学习获取和增加知识，改善技术和技巧。由于具有不同背景的人们对“学习”具有不同的看法和定义。学习是人类的主要智能之一；在人类进化过程中，学习起到了很大作用。进入21世纪以来，对机器学习的研究取得新的进展，尤其是一些新的学习方法为学习系统注入新鲜血液，必将推动学习系统研究的进一步开展。

5. 仿生系统

科学家和工程师们应用数学和科学来模仿自然，包括人类和生物的自然智能。人类智能已激励出高级计算、学习方法和技术。仿生智能系统就是模仿与模拟人类和生物行为的智能系统。试图通过人工方法模仿人类智能已有很长的历史了。

生物通过个体间的选择、交叉、变异来适应大自然环境。生物种群的生存过程普遍遵循达尔文的物竞天择、适者生存的进化准则。种群中的个体根据对环境的适应能力而被大自然所选择或淘汰。进化过程的结果反映在个体结构上，其染色体包含若干基因，相应的表现型和基因型的联系体现了个体的外部特性与内部机理间的逻辑关系。把进化计算(evolutionary computation)。特别是遗传算法(generic algorithm,GA) 机制用于人工系统和过程，则可实现一种新的智能系统，即仿生智能系统(bionic intelligent systems)。

6. 群智能系统

可把群(swarm) 定义为某种交互作用的组织或Agent 的结构集合。在群智能计算研究中，群的个体组织包括蚂蚁、白蚁、蜜蜂、黄蜂、鱼群和鸟群等。在这些群体中，个体在结构上是很简单的，而它们的集体行为却可能变得相当复杂。社会组织的全局群行为是由群内个体行为以非线性方式实现的。于是，在个体行为和全局群行为间存在某个紧密的联系。这些个体的集体行为构成和支配了群行为。另一方面，群行为又决定了个体执行其作用的条件。这些作用可能改变环境，因而也可能改变这些个体自身的行为和它的地位。

群社会网络结构形成该群存在的一个集合，它提供了个体间交换经验知识的通信通道。群社会网络结构的一个惊人的结果是它们在建立最佳蚁巢结构、分配劳力和收集食物等方面的组织能力。群计算建模已获得许多成功的应用，从不同的群研究得到不同的应用。

7. 多真体系统

计算机技术、人工智能、网络技术的出现与发展，突破了集中式系统的局限性，并行计算和分布式处理等技术（包括分布式人工智能）和多真体系统(Multiple Agent System,MAS) 应运而生。可把真体(Agent) 看作能够通过传感器感知其环境，并借助执行器作用于该环境的任何事物。当采用多真体系统进行操作时，其操作原理随着真体结构的不同而有所差异，难以给出一个通用的或统一的多真体系统结构。

多真体系统具有分布式系统的许多特性，如交互性、社会性、协作性、适应性和分布性等。多真体系统包括移动(migration) 分布式系统、分布式智能、计算机网络、通信、移动模型和计算、编程语言、安全性、容错和管理等关键技术。

多真体系统已获得十分广泛的应用，涉及机器人协调、过程控制、远程通信、柔性制造、网络通信、网络管理、交通控制、电子商务、数据库、远程教育和远程医疗等。

8. 混合智能系统

前面介绍的几种智能系统，各自具有固有优点和缺点。例如，模糊逻辑擅长处理不确定性，神经网络主要用于学习，进化计算是优化的高手。在真实世界中，不仅需要不同的知识，而且需要不同的智能技术。这种需求导致了混合智能系统的出现。单一智能机制往往无法满足一些复杂、未知或动态系统的系统要求，就需要开发某些混合的（或称为集成的、综合的、复合的）智能技术和方法，以满足现实问题提出的要求。

混合智能系统在相长的一段时间成为智能系统研究与发展的一种趋势，各种混合智能方案如雨后春笋破土而出一样纷纷面世。混合能否成功，不仅取决于结合前各方的固有特性和结合后“取长补短”或“优势互补”的效果，而且也需要经受实际应用的检验。

此外，还可以按照应用领域来对智能系统进行分类，如智能机器人系统、智能决策系统、智能加工系统、智能控制系统、智能规划系统、智能交通系统、智能管理系统、智能家电系统等。

1.4 人工智能研究的基本内容

人工智能学科有着十分广泛和极其丰富的研究内容。不同的人工智能研究者从不同的角度对人工智能的研究内容进行分类。例如，基于脑功能模拟、基于不同认知观、基于应用领域和应用系统、基于系统结构和支撑环境等。因此，要对人工智能研究内容进行全面和系统的介绍也是比较困难的，而且可能也是没有必要的。下面综合介绍一些得到诸多学者认同并具有普遍意义的人工智能研究的基本内容。

1. 认知建模

浩斯顿(Houston) 等把认知归纳为如下5 种类型：

- (1) 信息处理过程；
- (2) 心理上的符号运算；
- (3) 问题求解；
- (4) 思维；
- (5) 诸如知觉、记忆、思考、判断、推理、学习、想象、问题求解、概念形成和语言使用等关联活动。

人类的认知过程是非常复杂的。作为研究人类感知和思维信息处理过程的一门学科，认知科学（或称思维科学）就是要说明人类在认知过程中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，涉及非常广泛的研究课题。除了浩斯顿提出的知觉、记忆、思考、学习、语言、想象、创造、注意和问题求解等关联活动外，还会受到环境、社会和文化背景等方面的影响。人工智能不仅要研究逻辑思维，而且还要深入研究形象思维和灵感思维，使人工智能具有更坚实的理论基础，为智能系统的开发提供新思想和新途径。

2. 知识表示

知识表示、知识推理和知识应用是传统人工智能的三大核心研究内容。其中，知识表示是基础，知识推理实现问题求解，而知识应用是目的。

知识表示是把人类知识概念化、形式化或模型化。一般地，就是运用符号知识、算法和状态图等来描述待解决的问题。已提出的知识表示方法主要包括符号表示法和神经网络表示法两种。涉及状态空间法、问题归纳法、谓词演算法、语义网络法、框架表示法、本体表示法、过程表示法和神经网络表示法等。

3. 知识推理

推理是人脑的基本功能。几乎所有的人工智能领域都离不开推理。要让机器实现人工智能，就必须赋予机器推理能力，进行机推推理。

所谓推理就是从一些已知判断或前提推导出一个新的判断或结论的思维过程。形式逻辑中的推理分为演绎推理、归纳推理和类比推理等。知识推理，包括不确定性推理和非经典推理等，似乎已是人工智能的一个永恒研究课题，仍有很多尚未发现和解决的问题值得研究。

4. 知识应用

人工智能能否获得广泛应用是衡批其生命力和检验其生存力的重要标志。20 世纪70 年代，正是专家系统的广泛应用，使人工智能走出低谷，获得快速发展。后来的机器学习和近年来的自然语言理解应用研究取得重大进展，又促进了人工智能的进一步发展。当然；应用领域的发展是离不开知识表示和知识推理等基础理论以及基本技术的进步的。

人工智能的一些重要应用领域，包括机器学习、专家系统、自动规划、自然语言理解和智能控制等。

5. 机器感知

机器感知就是使机器具有类似于人的感觉，包括视觉、听觉、力觉、触觉、嗅觉、痛觉、接近感和速度感等。其中，最重要的和应用最广的要算机器视觉（计算机视觉）和机器听觉。机器视觉要能够识别与理解文字、图像、场景以至人的身份等；机器听觉要能够识别与理解声音和语言等。

机器感知是机器获取外部信息的基本途径。要使机器具有感知能力，就要为它安上各种传感器。机器视觉和机器听觉已催生了人工智能的两个研究领域——模式识别和自然语言理解或自然语言处理。实际上，随着这两个研究领域的进展，它们已逐步发展成为相对独立的学科。

6. 机器思维

机器思维是对传感信息和机器内部的工作信息进行有目的的处理。要使机器实现思维，需要综合应用知识表示、知识推理、认知建模和机器感知等方面的研究成果，开展如下各方面的研究工作：

- (1) 知识表示，特别是各种不确定性知识和不完全知识的表示。
- (2) 知识组织、积累和管理技术。
- (3) 知识推理，特别是各种不确定性推理、归纳推理、非经典推理等。
- (4) 各种启发式搜索和控制策略。

- (5) 人脑结构和神经网络的工作机制。

7. 机器学习

机器学习是继专家系统之后人工智能应用的又一重要研究领域，也是人工智能和神经计算的核心研究课题之一。现有的计算机系统和人工智能系统大多数没有什么学习能力，至多也只有非常有限的学习能力，因而不能满足科技和生产提出的新要求。

学习是人类具有的一种重要智能行为。机器学习就是使机器（计算机）具有学习新知识和新技术，并在实践中不断改进和完善的能力。机器学习能够使机器自动获取知识，向书本等文献资料 and 与人交谈或观察环境进行学习。

8. 机器行为

机器行为系指智能系统（计算机，机器人）具有的表达能力和行动能力，如对话、描写、刻画以及移动、行走、操作和抓取物体等。研究机器的拟人行为是人工智能的高难度的任务。机器行为与机器思维密切相关，机器思维是机器行为的基础。

9. 智能系统构建

上述直接的实现智能研究，离不开智能计算机系统或智能系统，离不开对新理论、新技术和新方法以及系统的硬件和软件支持。需要开展对模型、系统构造与分析技术、系统开发环境和构造工具以及人工智能程序设计语言的研究。一些能够简化演绎、机器人操作和认知模型的专用程序设计以及计算机的分布式系统、并行处理系统、多机协作系统和各种计算机网络等的发展，将直接有益千人工智能的开发。

1.5 人工智能的计算方法

人工智能各个学派，不仅其理论基础不同，而且计算方法也不尽相同。因此，人工智能和智能系统的计算方法也不尽相同。

基于符号逻辑的人工智能学派强调基于知识的表示与推理，而不强调计算，但并非没有任何计算。图搜索、谓词演算和规则运算都属于广义上的计算。显然，这些计算是与传统的采用数理方程、状态方程、差分方程、传递函数、脉冲传递函数和矩阵方程等数值分析计算有根本区别的。随着人工智能的发展，出现了各种新的智能计算技术，如模糊计算、神经计算、进化计算、免疫计算和粒子群计算等，它们是以算法为基础的，也与数值分析计算方法有所不同。

归纳起来，人工智能和智能系统中采用的主要计算方法如下：

- (1) 概率计算在专家系统中，除了进行知识推理外，还经常采用概率推理、贝叶斯推理、基于可信度推理、基于证据理论推理等不确定性推理方法。在递阶智能机器和递阶智能系统中，用信息熵计算各层级的作用。实质上，这些都是采用概率计算，属于传统的数学计算方法。
 - (2) 符号规则逻辑运算一阶谓词逻辑的消解（归结）原理、规则演绎系统和产生式系统，都是建立在谓词符号演算基础上的IF-THEN（如果—那么）规则运算。这种运算方法在基于规则的专家系统和专家控制系统中得到普遍应用。这种基于规则的符号运算特别适于描述过程的因果关系和非解析的映射关系等。
 - (3) 模糊计算利用模糊集合及其隶属度函数等理论，对不确定性信息进行模糊化、模糊决策和模糊判决（解模糊）等，实现模糊推理与问题求解。根据智能系统求解过程的一些定性知识，采用模糊数学和模糊逻辑中的概念与方法，建立系统的输入和输出模糊集以及它们之间的模糊关系。从实际应用的观点来看，模糊理论的应用大部分集中在模糊系统上，也有一些模糊专家系统将模糊计算应用于医疗诊断和决策支持。模糊控制系统主要应用模糊计算技术。
 - (4) 神经计算认知心理学家通过计算机模拟提出的一种知识表征理论，认为知识在人脑中以神经网络形式储存，神经网络由可在不同水平上被激活的节点组成，节点间有连接作用，并通过学习对神经网络进行训练，形成了人工神经网络学习模型。
 - (5) 进化计算与免疫计算可将进化计算和免疫计算用于智能系统。这两种新的智能计算方法都是以模拟计算模型为基础的，具有分布并行计算特征，强调自组织、自学习与自适应。
- 此外，还有群优化计算、蚁群算法等。

1.6 人工智能的研究与应用领域

1.6.1 问题求解与博弈

人工智能的第一个大成就是发展了能够求解难题的下棋（如国际象棋）程序。在下棋程序中应用的某些技术，如向前看几步，并把困难的问题分成一些比较容易的子问题，发展成为搜索和问题消解（归约）这样的人工智能基本技术。今天的计算机程序能够下锦标赛水平的各种方盘棋、十五子棋、中国象棋和国际象棋，并取得前面提到的计算机棋手战胜国际和国家象棋冠军的成果。另一种问题求解程序把各种数学公式符号汇编在一起，其性能达到很高的水平，并正在为许多科学家和工程师所应用。有些程序甚至还能够用经验来改善其性能。

如前所述，这个问题中未解决的问题包括人类棋手具有的但尚不能明确表达的能力，如国际象棋大师们洞察棋局的能力。另一个未解决的问题涉及问题的原概念，在人工智能中叫做问题表示的选择。人们常常能够找到某种思考问题的方法从而使求解变易而解决该问题。到目前为止，人工智能程序已经知道如何考虑它们要解决的问题，即搜索解答空间，寻找较优的解答。

1.6.2 逻辑推理与定理证明

早期的逻辑演绎研究工作与问题和难题的求解相当密切。已经开发出的程序能够借助于对事实数据库的操作来“证明”断定；其中每个事实由分立的数据结构表示，就像数理逻辑中由分立公式表示一样。与人工智能的其他技术的不同之处是，这些方法能够完整和一致地加以表示。也就是说，只要本原事实是正确的，那么程序就能够证明这些从事实得出的定理。而且也仅仅是证明这些定理。

逻辑推理是人工智能研究中最持久的子领域之一。特别重要的是要找到一些方法，只把注意力集中在一个大型数据库中的有关事实上，留意可信的证明，并在出现新信息时适时修正这些证明。

对数学中臆测的定理寻找一个证明或反证，确实称得上是一项智能任务。为此不仅需要有能力根据假设进行演绎的能力，而且需要某些直觉技巧。1976年7月，美国的阿佩尔(CK. Appel)等人合作解决了长达124年之久的难题——四色定理。他们用三台大型计算机，花去1200小时CPU时间，并对中间结果进行人为反复修改500多处。四色定理的成功证明曾轰动计算机界。我国人工智能大师吴文俊院士提出并实现了几何定理机器证明的方法，被国际上承认为“吴氏方法”，是定理证明的又一标志性成果。

1.6.3 计算智能

计算智能(computational intelligence)涉及神经计算、模糊计算、进化计算、粒群计算、自然计算、免疫计算和人工生命等研究领域。

进化计算(evolutionary computation)是指一类以达尔文进化论为依据来设计、控制和优化人工系统的技术和方法的总称，它包括遗传算法(genetic algorithm)、进化策略(evolutionary strategy)和进化规划(evolutionary programming)。自然选择的原则是适者生存，即物竞天择，优胜劣汰。

自然进化的这些特征早在20世纪60年代就引起了美国的霍兰(Holland)的极大兴趣。受达尔文进化论思想的影响，他逐渐认识到在机器学习中，为获得一个好的学习算法，仅靠单个策略的建立和改进是不够的，还要依赖千一个包含许多候选策略的群体的繁殖。

他还认识到，生物的自然遗传现象与人工自适应系统行为的相似性，因此他提出在研究和设计人工自主系统时可以模仿生物自然遗传的基本方法。70年代初，霍兰提出了“模式理论”，并于1975年出版了《自然系统与人工系统的自适应》专著，系统地阐述了遗传算法的基本原理，奠定了遗传算法研究的理论基础。

遗传算法、进化规划、进化策略具有共同的理论基础，即生物进化论，因此，把这三种方法统称为进化计算，而把相应的算法称为进化算法。

人工生命是1987年提出的，旨在用计算机和精密机械等人工媒介生成或构造出能够表现自然生命系统行为特征的仿真系统或模型系统。自然生命系统行为具有自组织、自复制、自修复等特征以及形成这些特征的混沌动力学、进化和环境适应。

人工生命的理论和方法有别于传统人工智能和神经网络的理论和方法。人工生命把生命现象所体现的自适应机理通过计算机进行仿真，对相关非线性对象进行更真实的动态描述和动态特征研究。

人工生命学科的研究内容包括生命现象的仿生系统、人工建模与仿真、进化动力学、人工生命的计算理论、进化与学习综合系统以及人工生命的应用等。

1.6.4 分布式人工智能与Agent

分布式人工智能(distributed AI, DAI) 是分布式计算与人工智能结合的结果。DAI系统以鲁棒性作为控制系统质量的标准, 并具有互操作性, 即不同的异构系统在快速变化的环境中具有交换信息和协同工作的能力。

分布式人工智能的研究目标是要创建一种能够描述自然系统和社会系统的精确概念模型。DAI 中的智能并非独立存在的概念, 只能在团体协作中实现, 因而其主要研究问题是各agent 间的合作与对话, 包括分布式问题求解和多agent 系统(multi-agentsystem ,MAS) 两领域。MAS 更能体现人类的社会智能, 具有更大的灵活性和适应性, 更适合开放和动态的世界环境, 因而备受重视, 已成为人工智能乃至计算机科学和控制科学与工程的研究热点。

1.6.5 自动程序设计

自动程序设计能够以各种不同的目的描述来编写计算机程序。对自动程序设计的研究不仅可以促进半自动软件开发系统的发展, 而且也使通过修正自身数码进行学习的人工智能系统得到发展。程序理论方面的有关研究工作对人工智能的所有研究工作都是很重要的。

自动编制一份程序来获得某种指定结果的任务与证明一份给定程序将获得某种指定结果的任务是紧密相关的, 后者叫做程序验证。

自动程序设计研究的重大贡献之一是作为问题求解策略的调整概念。已经发现, 对程序设计或机器人控制问题, 先产生一个不费事的有错误的解, 然后再修改它, 这种做法要比坚持要求第一个解答就完全没有缺陷的做法有效得多。

1.6.6 专家系统

一般地, 专家系统是一个智能计算机程序系统, 其内部具有大量专家水平的某个领域知识与经验, 能够利用人类专家的知识和解决问题的方法来原因该领域的问题。

发展专家系统的关键是表达和运用专家知识, 即来自人类专家的并已被证明对解决有关领域内的典型问题是有用的事实和过程。专家系统和传统的计算机程序的本质区别在干专家系统所要解决的问题一般没有算法解, 并且经常要在不完全、不精确或不确定的信息基础上得出结论。

随着人工智能整体水平的提高, 专家系统也获得发展。正在开发的新一代专家系统有分布式专家系统和协同式专家系统等。在新一代专家系统中, 不但采用基于规则的方法, 而且采用基于框架的技术和基于模型的原理。

1.6.7 机器学习

学习是人类智能的主要标志和获得知识的基本手段。机器学习(自动获取新的事实及新的推理算法)是使计算机具有智能的根本途径。此外, 机器学习还有助于发现人类学习的机理并揭示人脑的奥秘。

传统的机器学习倾向于使用符号表示而不是数值表示, 使用启发式方法而不是算法。传统机器学习的另一倾向是使用归纳(induction) 而不是演绎(deduction)。前一倾向使它有别于人工智能的模式识别等分支; 后一倾向使它有别于定理证明等分支。

按系统对导师的依赖程度可将学习方法分类为: 机械式学习、讲授式学习、类比学习、归纳学习、观察发现式学习等。

近20 年来又发展了下列各种学习方法: 基于解释的学习、基于事例的学习、基于概念的学习、基于神经网络的学习、遗传学习、增强学习、深度学习、超限学习以及数据挖掘和知识发现等。

数据挖掘和知识发现是20 世纪90 年代初期新崛起的一个活跃的研究领域。在数据库基础上实现的知识发现系统, 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, 从大撮的数据中提炼出抽象的知识, 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规律, 实现知识的自动获取。

深度学习算法是一类基于生物学对人脑进一步认识, 将神经一中枢一大脑的工作原理设计成一个不断迭代、不断抽象的过程, 以便得到最优数据特征表示的机器学习算法; 该算法从原始信号开始, 先做低级抽象, 然后逐渐向高级抽象迭代, 由此组成深度学习算法的基本框架。深度学习源于2006 年加拿大多伦多大学Geoffrey Hinton 提出了两个观点: CD 多隐含层的人工神经网络具有优异的特征学习能力, 学习特征对数据有更本质的刻画, 从而有利于可视化或分类; @深度神经网络在训练上的难度, 可以通过逐层初始化来克服。这些思想开启了深度学习的研究与应用热潮。

超限学习作为一种新的机器学习方法, 在许多研究者的不断研究下, 已经成为了一个热门研究方向。超限学习主要有以下四个特点。CD 对于大多数神经网络和学习算法, 隐层节点 / 神经元不需要迭代式的调整; @超限学习既属于通用单隐层前馈网络, 又属于多隐层前馈网络; @超限学习的相同构架可用作特征学习、聚类、回归和分类问题; @每个超限学习层组成一个隐层, 不需要调整隐层神经元的学习, 整个网路构成一个大的单层超限学习机, 且每层都可由一个超限学习机学习。

大规模数据库和互联网的迅速发展，使人们对数据库的应用提出新的要求。数据库中包含的大批知识无法得到充分的发掘与利用，会造成信息的浪费，并产生大量的数据垃圾。另一方面，知识获取仍是专家系统研究的瓶颈问题。从领域专家获取知识是非常复杂的个人到个人之间的交互过程，具有很强的个性和随机性，没有统一的办法。因此，人们开始考虑以数据库作为新的知识源。数据挖掘和知识发现能自动处理数据库中大址的原始数据，抽取具有必然性的、富有意义的模式成为有助于人们实现其目标的知识，找出人们对所需问题的解答。这些导致了大数据技术的出现与快速发展。

1.6.8 自然语言理解

语言处理也是人工智能的早期研究领域之一，并引起进一步的重视。已经编写出能够从内部数据库回答问题的程序，这些程序通过阅读文本材料和建立内部数据库，能够把句子从一种语言翻译为另一种语言，执行给出的指令和获取知识等。有些程序甚至能够在一定程度上翻译从话筒输入的口头指令。

当人们用语言互通信息时，他们几乎不费力地进行极其复杂却又只需要一点点理解的过程。语言已经发展成为智能动物之间的一种通信媒介，它在某些环境条件下把一点“思维结构”从一个头脑传输到另一个头脑，而每个头脑都拥有庞大的、高度相似的周围思维结构作为公共的文本。这些相似的、前后有关的思维结构中的一部分允许每个参与者知道对方也拥有这种共同结构，并能够在通信“动作”中用它来执行某些处理。语言的生成和理解是一个极为复杂的编码和解码问题。

1.6.9 机器人学

人工智能研究中日益受到重视的另一个分支是机器人学。一些并不复杂的动作控制问题，如移动式机器人的机械动作控制问题，表面上看并不需要很多智能。然而人类几乎下意识就能完成的这些任务，要是由机器人来实现就要求机器人具备在求解需要较多智能的问题时所用到的能力。

机器人和机器人学的研究促进了许多人工智能思想的发展。它所导致的一些技术可用来模拟世界的状态，用来描述从一种世界状态转变为另一种世界状态的过程。

智能机器人的研究和应用体现出广泛的学科交叉，涉及众多的课题，如机器人体系结构、机构、控制、智能、视觉、触觉、力觉、听觉、机器人装配、恶劣环境下的机器人以及机器人语言等。机器人已在各种工业、农业、商业、旅游业、空中和海洋以及国防等领域获得越来越普遍的应用。近年来，智能机器人的研发与应用已在全世界出现一个热潮，极大地推动智能制造和智能服务等领域的发展。

1.6.10 模式识别

计算机硬件的迅速发展，计算机应用领域的不断开拓，急切要求计算机能更有效地感知诸如声音、文字、图像、温度、震动等人类赖以发展自身、改造环境所运用的信息资料。着眼拓宽计算机的应用领域，提高其感知外部信息能力的学科模式识别便得到迅速发展。

人工智能所研究的模式识别是指用计算机代替人类或帮助人类感知模式，是对人类感知外界功能的模拟，研究的是计算机模式识别系统，也就是使一个计算机系统具有模拟人类通过感官接受外界信息、识别和理解周围环境的感知能力。

实验表明，人类接受外界信息的80 %以上来自视觉，10 %左右来自听觉。所以，早期的模式识别研究工作集中在对视觉图像和语音的识别上。

模式识别是一个不断发展的新学科，它的理论基础和研究范围也在不断发展。随着生物医学对人类大脑的初步认识，模拟人脑构造的计算机实验即人工神经网络方法已经成功地用于手写字符的识别、汽车牌照的识别、指纹识别、语音识别、车辆导航、星球探测等方面。

1.6.11 机器视觉

机器视觉或计算机视觉已从模式识别的一个研究领域发展为一门独立的学科。在视觉方面，已经给计算机系统装上电视输入装置以便能够“看见”周围的东西。在人工智能中研究的感知过程通常包含一组操作。

整个感知问题的要点是形成一个精练的表示以取代难以处理的、极其庞大的未经加工的输入数据。最终表示的性质和质储取决于感知系统的目标。不同系统有不同的目标，但所有系统都必须把来自输入的、多得惊人的感知数据简化为一种易于处理的和有意义的描述。

计算机视觉通常可分为低层视觉与高层视觉两类。低层视觉主要执行预处理功能，如边缘检测、动目标检测、纹理分析、通过阴影获得形状、立体造型、曲面色彩等。高层视觉则主要是理解所观察的形象。

机器视觉的前沿研究领域包括实时并行处理、主动式定性视觉、动态和时变视觉、三维景物的建模与识别、实时图像压缩传输和复原、多光谱和彩色图像的处理与解释等。

1.6.12 神经网络

研究结果已经证明，用神经网络处理直觉和形象思维信息具有比传统处理方式好得多的效果。神经网络的发展有着非常广阔的科学背景，是众多学科研究的综合成果。神经生理学家、心理学家与计算机科学家的共同研究得出的结论是：人脑是一个功能特别强大、结构异常复杂的信息处理系统，其基础是神经元及其互联关系。因此，对人脑神经元和人工神经网络的研究，可能创造出新一代人工智能机神经计算机。

对神经网络的研究始于20世纪40年代初期，经历了一条十分曲折的道路，几起几落，80年代初以来，对神经网络的研究再次出现高潮。

对神经网络模型、算法、理论分析和硬件实现的大量研究，为神经计算机走向应用提供了物质基础。人们期望神经计算机将重建人脑的形象，极大地提高信息处理能力，在更多方面取代传统的计算机。

1.6.13 智能控制

人工智能的发展促进自动控制向智能控制发展。智能控制是一类无需（或需要尽可能少的）人的干预就能够独立地驱动智能机器实现其目标的自动控制。或者说，智能控制是驱动智能机器自主地实现其目标的过程。许多复杂的系统，难以建立有效的数学模型和用常规控制理论进行定量计算与分析，而必须采用定掀数学解析法与基千知识的定性方法的混合控制方式。随着人工智能和计算机技术的发展，已可能把自动控制和人工智能以及系统科学的某些分支结合起来，建立一种适用于复杂系统的控制理论和技术。智能控制正是在这种条件下产生的。它是自动控制的最新发展阶段，也是用计算机模拟人类智能的一个重要研究领域。

智能控制是同时具有以知识表示的非数学广义世界模型和以数学公式模型表示的混合控制过程，也往往是含有复杂性、不完全性、模糊性或不确定性以及不存在已知算法的非数学过程，并以知识进行推理，以启发来引导求解过程。智能控制的核心在高层控制，即组织级控制。其任务在于对实际环境或过程进行组织，即决策和规划，以实现广义问题求解。

1.6.14 智能调度与指挥

确定最佳调度或组合的问题是人们感兴趣的又一类问题。一个古典的问题就是推销员旅行问题(TSP)。许多问题具有这类相同的特性。

在这些問題中有几个（包括推销员旅行问题）是属于理论计算机科学家称为NP完全性一类的问题。他们根据理论上的最佳方法计算出所耗时间（或所走步数）的最坏情况来排列不同问题的难度。该时间或步数是随着问题大小的某种掀度增长的。

人工智能学家们曾经研究过若干组合问题的求解方法。有关问题域的知识再次成为比较有效的求解方法的关键。智能组合调度与指挥方法已被应用于汽车运输调度、列车的编组与指挥、空中交通管制以及军事指挥等系统。它已引起有关部门的重视。

1.6.15 智能检索

随着科学技术的迅速发展，出现了“知识爆炸”的情况。对国内外种类繁多和数批巨大的科技文献之检索远非人力和传统检索系统所能胜任。研究智能检索系统已成为科技持续快速发展的重要保证。

数据库系统是储存某学科大批事实的计算机软件系统，它们可以回答用户提出的有关该学科的各种问题。数据库系统的设计也是计算机科学的一个活跃的分支。为了有效地表示、存储和检索大批事实，已经发展了许多技术。

智能信息检索系统的设计者们将面临以下几个问题。首先，建立一个能够理解以自然语言陈述的询问系统本身就存在不少问题。其次，即使能够通过规定某些机器能够理解的形式化询问语句来回避语言理解问题，仍然存在一个如何根据存储的事实演绎出答案的问题。第三，理解询问和演绎答案所需要的知识都可能超出该学科领域数据库所表示的知识。

1.6.16 系统与语言工具

除了直接瞄准实现智能的研究工作外，开发新的方法也往往是人了智能研究的一个重要方面。人工智能对计算机界的某些最大贡献已经以派生的形式表现出来。计算机系统的一些概念，如分时系统、编目处理系统和交互调试系统等，已经在人工智能研究中得到发展。一些能够简化演绎、机器人操作和认识模型的专用程序设计和系统常常是新思想的丰富源泉。几种知识表达语言（把编码知识和推理方法作为数据结构和过程计算机的语言）已在20世纪70年代后期开发出来，以探索各种建立推理程序的思想。20世纪80年代以来，计算机系统，如分布式系统、并行处理系统、多机协作系统和各种计算机网络等，都有了长足发展。在人工智能程序设计语言方面，除了继续开发

和改进通用和专用的编程语言新版本和新语种外，还研究出了一些面向目标的编程语言和专用开发工具。对关系数据库研究所取得的进展，无疑为人工智能程序设计提供了新的有效工具。