

21世纪高等学校计算机规划教材

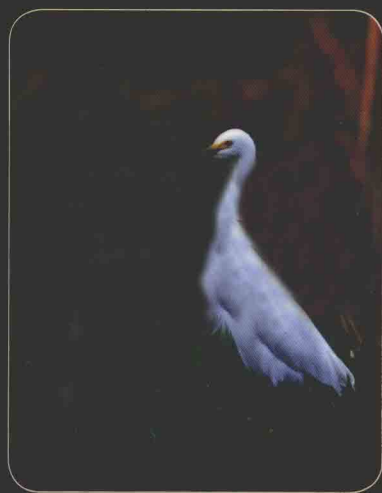
21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

人工智能技术 简明教程

A Concise Course in Artificial Intelligence
Technology

廉师友 编著

- 学习人工智能知识
- 掌握人工智能技术
- 建造人工智能系统



精品系列



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

21世纪高等学校计算机规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

人工智能技术 简明教程

A Concise Course in Artificial Intelligence
Technology

廉师友 编著



精品系列

人民邮电出版社

北京

图书在版编目 (CIP) 数据

人工智能技术简明教程 / 廉师友编著. — 北京 :
人民邮电出版社, 2011. 4
21世纪高等学校计算机规划教材. 精品系列
ISBN 978-7-115-23237-3

I. ①人… II. ①廉… III. ①人工智能—高等学校—
教材 IV. ①TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第118070号

内 容 提 要

本书简明扼要地介绍了人工智能技术的基本原理、方法及其应用。全书共 10 章, 主要内容包括: 人工智能的基本概念、研究途径、分支领域和发展概况等; 常用的人工智能程序设计语言 Prolog; 基于图搜索的问题求解技术; 基于遗传算法的随机优化搜索; 常用的知识表示及其推理技术; 机器学习与知识发现的基本原理和方法; 专家系统的基本原理与建造方法; Agent 系统的基本原理与设计; 智能机器人的基本原理; 智能化网络的基本原理与技术。

本书取材新颖, 内容简明, 注重基础, 面向应用, 理例结合, 易教易学, 可作为普通高等院校计算机、自动化、信息、计算科学、管理、控制及系统工程等专业人工智能课程的教材或教学参考书, 也可供其他专业的师生和相关科研及工程技术人员自学或参考。

21 世纪高等学校计算机规划教材

人工智能技术简明教程

-
- ◆ 编 著 廉师友
责任编辑 贾 楠
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京艺辉印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12.5 2011 年 4 月第 1 版
字数: 328 千字 2011 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-115-23237-3

定价: 25.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

智能化是信息化和自动化的必然发展趋势,现在国内已有十多所院校开设了智能科学技术专业,而绝大部分相关专业如计算机、自动化、信息与计算、电子信息工程等专业都开设了人工智能方面的必修或选修课程。相应地,人工智能课程的教材这几年也越来越多,但适合普通院校(含电大、自考、继续教育及专科等)和非计算机专业课程要求的教材却比较缺乏。考虑到这类院校和专业的需求和实际,提供一种普及型简明教材则最为适宜。于是,本教材便应运而生。

本书简明扼要地介绍了人工智能技术的基本原理、方法及其应用,重点介绍了“基于图搜索的问题求解”、“基于遗传算法的随机优化搜索”、“知识表示与推理”、“机器学习与知识发现”、“专家系统”、“Agent 系统”、“智能机器人”和“智能化网络”八大主题。全书共 10 章,每章都配备适当的习题,另外还编排了上机实习,以强化实践环节。

本书主要取材于作者的《人工智能技术导论》第一、二、三版,另外还参考了国内外大量有关文献资料,并融入了作者多年来的教学实践经验和最新研究成果。为了把握好篇幅大小和深浅难易,书稿几经修改,方最终成书。本书在选材上注重基础,面向应用;在写法上力求简明易懂,易教易学。另外,还配有相应的多媒体课件,并可提供该教材和课程的咨询服务。在使用该教材时,各院校和专业可根据自己的实际对教材内容进行取舍。书中 2.3、3.5、5.5、5.6 节可作为选讲内容。

由于受作者水平和视野的局限,书中的不足甚至错误之处仍难以避免。恳请广大读者批评指正。

作者

2010 年 7 月于西安

目 录

第 1 章 概述	1	3.2 状态图搜索问题求解	49
1.1 什么是人工智能	1	3.2.1 问题的状态图表示	49
1.2 为什么要研究人工智能	2	3.2.2 状态图问题求解程序举例	52
1.3 人工智能的研究途径与方法	3	3.3 与或图搜索	57
1.4 人工智能技术的应用	6	3.3.1 与或图	57
1.5 人工智能学科的发展概况*	14	3.3.2 与或图搜索	59
习题 1	18	3.3.3 启发式与或树搜索	61
第 2 章 逻辑程序设计		3.4 与或图搜索问题求解	64
语言 Prolog	19	3.4.1 问题的与或图表示	64
2.1 Prolog 基础	19	3.4.2 与或图问题求解程序举例	65
2.1.1 Prolog 的语句	19	3.5 博弈树搜索*	66
2.1.2 Prolog 的程序	20	3.5.1 博弈树的概念	66
2.1.3 Prolog 程序的运行机理	21	3.5.2 极小-极大分析法	66
2.2 Turbo Prolog 程序设计	24	3.5.3 α - β 剪枝技术	68
2.2.1 程序结构	24	习题 3	69
2.2.2 数据与表达式	25	第 4 章 基于遗传算法的随机	
2.2.3 输入与输出	28	优化搜索	71
2.2.4 分支与循环	29	4.1 几个基本概念	71
2.2.5 动态数据库	30	4.2 基本遗传算法	73
2.2.6 表处理与递归	31	4.3 遗传算法应用举例	74
2.2.7 回溯控制	33	4.4 遗传算法的特点与优势	77
2.2.8 程序举例	34	习题 4	78
2.3 Visual Prolog 语言简介*	36	第 5 章 知识表示与推理	79
习题 2	37	5.1 概述	79
第 3 章 基于图搜索的问题求解	38	5.1.1 知识及其表示	79
3.1 状态图搜索	38	5.1.2 机器推理	81
3.1.1 状态图	38	5.2 谓词公式及其推理	81
3.1.2 状态图搜索	39	5.2.1 一阶谓词逻辑简介	81
3.1.3 穷举式搜索	42	5.2.2 自然语言命题的谓词公式	
3.1.4 启发式搜索	44	表示与推理	87
3.1.5 加权状态图搜索	46	5.2.3 子句与归结演绎推理	89
3.1.6 A 算法和 A* 算法	47	5.3 产生式规则及其推理	96
3.1.7 状态图搜索策略小结	49	5.3.1 产生式规则及其推理模式	96
		5.3.2 产生式系统	97

5.4 几种结构化知识表示及其推理	103	7.4.3 知识表示与知识描述语言设计	159
5.4.1 框架及其推理	103	7.4.4 知识库与知识库管理系统设计	159
5.4.2 语义网络及其推理	107	7.4.5 推理机与解释机制设计	160
5.4.3 类与对象及其推理	111	7.4.6 系统结构设计	161
5.5 不确定性知识的表示与推理*	113	7.4.7 人机界面设计	161
5.5.1 何为不确定性知识	113	7.5 开发工具与环境	162
5.5.2 不确定性知识的表示及推理	113	7.5.1 开发工具	162
5.5.3 确定性理论简介	115	7.5.2 开发环境	163
5.6 不确切性知识的表示及推理*	116	习题 7	164
5.6.1 何为不确切性知识	116	第 8 章 Agent 系统	165
5.6.2 不确切性知识的表示及推理	117	8.1 什么是 Agent	165
习题 5	119	8.2 Agent 实例——Web Agent	167
第 6 章 机器学习与知识发现	122	8.3 多 Agent 系统	167
6.1 机器学习与知识发现的概念	122	8.4 Agent 的实现	171
6.1.1 何为机器学习和知识发现	122	8.5 Agent 技术的发展与应用	171
6.1.2 机器学习的分类	123	习题 8	172
6.2 符号学习	125	第 9 章 智能机器人	173
6.2.1 记忆学习	125	9.1 智能机器人的概念	173
6.2.2 示例学习	126	9.2 机器人感知	173
6.2.3 决策树学习	127	9.3 机器人规划	174
6.3 神经网络学习	134	9.4 机器人控制	175
6.3.1 从生物神经元到人工神经元	134	9.5 机器人系统的软件结构	176
6.3.2 人工神经网络	135	9.6 机器人程序设计与语言	176
6.3.3 神经网络学习	137	习题 9	178
6.3.4 BP 网络及其学习举例	138	第 10 章 智能化网络	179
6.4 知识发现与数据挖掘	140	10.1 智能网	179
习题 6	143	10.2 网络的智能化管理与控制	182
第 7 章 专家系统	145	10.3 智能搜索引擎与网上信息的 智能化检索	184
7.1 什么是专家系统	145	习题 10	187
7.2 专家系统的结构	147	上机实习	188
7.2.1 概念结构	147	实习一 Prolog 语言编程练习	188
7.2.2 实际结构	148	实习二 小型演绎数据库系统开发练习	189
7.2.3 黑板模型	149	实习三 图搜索问题求解程序练习	189
7.2.4 网络与分布式结构	151	实习四 小型专家系统设计与实现	190
7.3 专家系统实例	151	参考文献	193
7.4 专家系统设计与实现	157		
7.4.1 一般步骤与方法	157		
7.4.2 知识获取	158		

第 1 章

概述

1.1 什么是人工智能

1. 人工智能的概念

顾名思义，人工智能（Artificial Intelligence, AI）就是人造智能。具体来讲，目前的“人工智能”一词是指用计算机模拟或实现的智能，因此，人工智能又称机器智能。“人工智能”同时又是一个学科名称，作为学科，人工智能研究的是如何使机器（计算机）具有智能的科学和技术，特别是自然智能（包括人和其他生物的智能）如何在计算机上实现或再现的科学和技术。因此，人工智能的研究不仅涉及计算机科学，而且还涉及逻辑学、语言学、心理学、脑和认知科学、行为科学、生命科学、信息科学、系统科学、数理科学等诸多学科领域。这就是说，人工智能实际上是一门综合性交叉学科和边缘学科。

2. 脑智能和群智能

要研究人工智能，当然要涉及什么是智能的问题，但这却是一个难以准确回答的问题，因为关于智能，至今还没有一个确切的公认的定义。下面我们就对此进行一些讨论。

我们知道，人的智能源于人脑。但由于人脑是由数以亿计（大约 850 亿）的神经元组成的一个复杂的、动态的巨系统，其奥秘至今还未完全被揭开，因而就导致了人们对智能的模糊认识。但从整体功能来看，人脑的智能表现还是可以辨识出来的，如学习、发现、创造等能力就是明显的智能表现。进一步分析可以发现，人脑的智能及其发生过程都是在其心理层面上可见的，即以某种心理活动和思维过程表现的，这就是说，智能是可以在宏观心理层次上定义和研究的。基于这一认识，我们把脑（主要指人脑）的这种宏观心理层次智能表现称为脑智能（Brain Intelligence, BI）。

另外，人们发现一些生物群落或者更一般的生命群体的群体行为或者社会行为，也表现出一定的智能，如蚂蚁群、蜜蜂群、鸟群、鱼群等。在这些群体中，个体的功能并不复杂，但它们的群体行为却表现出相当的智慧，如蚂蚁觅食时总会走最短路径，蚁巢和蜂巢结构的科学性。现在人们把这种由群体行为所表现出的智能称为群智能（Swarm Intelligence, SI）。

可以看出，群智能是有别于脑智能的，事实上，它们是属于不同层次的智能。脑智能是一种个体智能（Individual Intelligence, II），而群智能是一种系统智能（System Intelligence, SI），或者说社会智能（Social Intelligence, SI）。

当然，如果用群的眼光来考察脑，则脑中的神经网络其实也就是由神经细胞组成的细胞群。

当我们在进行思维时，大脑中的相关神经元只是在各负其责，各司其职，至于它们在传递什么信息甚至在做什么，神经元自己则并不知道。然而由众多神经元所组成的群体——神经网络却具有自组织、自学习、自适应等智能表现，而且正是微观生理层次上神经元的低级的群智能才形成了宏观心理层次上高级的脑智能。这就是说，对于人脑来说，宏观心理（或者语言）层次上的脑智能与神经元层次上的群智能有密切的关系（但二者之间的具体关系如何却仍然是个谜，这个问题的解决可能需要借助于系统科学）。

至今人们对自然智能的机理还未完全弄清楚，这就导致了对于智能的多种说法。譬如有人说（脑）智能的基础是知识（因为没有知识的智能是不可想象的），有人说（脑）智能的关键是思维（因为知识还是由思维产生的），还有人说智能取决于感知和行为，认为智能是在系统与周围环境不断“刺激—反应”的交互中发展和进化的。对此作者不想多加评论。作者认为，脑智能就是发现规律、运用规律的能力，或者说发现知识、运用知识的能力；而群智能则可表现为自组织、自学习、自适应、自寻优等能力。进一步来讲，如果从解决问题的角度看，智能就是自主解决问题的能力。

3. 符号智能和计算智能

我们已知，智能可分为脑智能和群智能。那么，通过模拟、借鉴脑智能和群智能就可以研究和实现人工智能。事实上，现在所称的符号智能（Symbolic Intelligence, SI）和计算智能（Computational Intelligence, CI）正是这样做的。

（1）符号智能。符号智能就是符号人工智能，也就是所说的传统人工智能或经典人工智能，它是模拟脑智能的人工智能。符号智能以符号形式的知识和信息为基础，主要通过逻辑推理，运用知识进行问题求解。符号智能的主要内容包括知识获取（Knowledge Acquisition, KA）、知识表示（Knowledge Representation, KR）、知识组织与管理、知识运用等技术，这些构成了所谓的知识工程（Knowledge Engineering, KE）以及基于知识的智能系统等。

（2）计算智能。计算智能就是计算人工智能，它是模拟群智能的人工智能。计算智能以数值数据为基础，主要通过数值计算，运用算法对问题进行求解。计算智能的主要内容包括神经计算（Neural Computation, NC）、进化计算（亦称演化计算（Evolutionary Computation, EC），包括遗传算法（Genetic Algorithm, GA）、进化规划（Evolutionary Planning, EP）、进化策略（Evolutionary Strategies, ES）等）、免疫计算（immune computation）、粒群计算（Particle Swarm Algorithm, PSA）、蚁群算法（Ant Colony Algorithm, ACA）、自然计算（Natural Computation, NC）人工生命（Artificial Life, AL）等。计算智能主要研究各类优化搜索算法，是当前人工智能学科中一个十分活跃的分支领域。

1.2 为什么要研究人工智能

我们知道，计算机是迄今为止最有效的信息处理工具，以至于人们称它为“电脑”。但现在的普通计算机系统的智能还相当低下，譬如缺乏自适应、自学习、自优化等能力，也缺乏社会常识或专业知识等，而只能是被动地按照人们为它事先安排好的工作步骤进行工作。因而它的功能和作用就受到很大的限制，难以满足越来越复杂和越来越广泛的社会需求。既然计算机和人脑一样都可进行信息处理，那么是否能让计算机同人脑一样也具有智能呢？这正是人们研究人工智能的初衷。

事实上,如果计算机自身也具有一定智能,那么,它的功效将会发生质的飞跃,成为名副其实的“电脑”。这样的电脑将是人脑更为有效的扩大和延伸,也是人类智能的扩大和延伸,其作用是不可估量的。例如,用这样的电脑武装起来的机器人就是智能机器人。智能机器人的出现,标志着人类社会进入一个新的时代。

研究人工智能也是当前信息化社会的迫切要求。信息化的进一步发展,就必须有智能技术的支持。例如,当前迅速发展着的互联网(Internet)、万维网(WWW)和网格(Grid)就越来越多地需要智能技术的支持。事实上,人工智能技术在Internet、WWW和Grid上已经发挥了和正在发挥着重要作用。

另外,智能化也是自动化发展的必然趋势。自动化发展到一定水平,再向前进就必然是智能化。事实上,智能化将是继机械化、自动化之后,人类生产和生活中的又一个技术特征。

此外,研究人工智能对探索人类自身智能的奥秘也可提供有益的帮助。我们可以通过电脑对人脑进行模拟,从而揭示人脑的工作原理,发现自然智能的渊源。事实上,现在有一门称为“计算神经科学”的学科正迅速崛起,它从整体水平、细胞水平和分子水平对大脑进行模拟研究,以揭示其智能活动的机理和规律。

人工智能作为一门学科,其研究目标就是制造智能机器和智能系统,实现智能化社会。具体来讲,就是要使计算机不仅具有脑智能和群智能,还要具有看、听、说、写等感知和交流能力。简言之,就是要使计算机具有自主发现规律、解决问题和发明创造的能力,从而大大扩展和延伸人的智能,实现人类社会的全面智能化。

但由于理论和技术的原因,这一宏伟目标一时还难以完全实现。因此,人工智能学科的研究策略则是先部分地或某种程度地实现机器的智能,并运用智能技术解决各种实际问题,特别是工程问题,从而使现有的计算机更灵活、更好用和更有用,成为人类的智能化信息处理工具,从而逐步扩展和不断延伸人的智能,逐步实现智能化。

需要指出的是,人工智能的长远目标虽然现在还不能全部实现,但在某些方面,当前的机器智能已表现出相当高的水平。例如,在机器博弈、自动推理、定理证明、模式识别、机器学习、知识发现以及规划、调度、控制等方面,当前的机器智能的确已达到或接近能同人类抗衡和媲美的水平。

1.3 人工智能的研究途径与方法

基于脑智能的符号智能和基于群智能的计算智能就可算是人工智能的两种研究途径与方法,但这样划分过于笼统和粗糙。进一步细分,人工智能的研究途径和方法有以下具体途径与方法。

1. 心理模拟,符号推演

这一途径就是从人脑的宏观心理层面入手,以智能行为的心理模型为依据,将问题或知识表示成某种逻辑或关系网络,采用符号推演的方法,模拟人脑的逻辑思维过程,实现人工智能。

采用这一途径与方法的原因如下。①人脑的可意识到的思维活动(如记忆、联想、推理、计算、思考等思维过程都是一些心理活动)是在心理层面上进行的,心理层面上的思维过程是可以用语言符号显式表达的,从而人的智能行为就可以用逻辑来建模。②心理学、逻辑学、语言学等实际上也是建立在人脑的心理层面上的,从而这些学科的一些现成理论和方法就可供人工智能参考

或直接使用。③当前的数字计算机可以方便地实现语言符号型知识的表示和处理。④可以直接运用人类已有的显式知识（包括理论知识和经验知识）直接建立基于知识的智能系统。

基于思维模拟和符号推演的人工智能研究，被称为心理学派、逻辑学派、符号主义。早期的代表人物有纽厄尔（Allen Newell）、肖（Shaw）、西蒙（Herbert Simon）等，后来还有费根宝姆（E. A. Feigenbaum）、尼尔逊（Nilsson）等，其代表性的理念是所谓的“物理符号系统假设”。这一学派认为，人对客观世界的认知基元是符号，认知过程就是符号处理的过程；而计算机也可以处理符号，所以，就可以用计算机通过符号推演的方式来模拟人的逻辑思维过程，实现人工智能。

符号推演法是人工智能研究中最先使用的方法之一。人工智能的许多重要成果也都是用该方法取得的，如自动推理、定理证明、问题求解、机器博弈、专家系统等。这种方法模拟人脑的逻辑思维，利用显式的知识和推理来解决问题，因此它擅长实现人脑的高级认知功能，如推理、决策等。

2. 生理模拟，神经计算

这一途径就是从人脑的生理层面，即微观结构和工作机理入手，以智能行为的生理模型为依据，采用数值计算的方法，模拟脑神经网络的工作过程，实现人工智能。具体来讲，就是用人工神经网络作为信息和知识的载体，用称为神经计算的数值计算方法来实现网络的学习、记忆、联想、识别、推理等功能。

现在人们已知，人脑的生理结构是由大约 850 亿个神经元（细胞）组成的神经网络，而且是一个动态的、开放的、高度复杂的巨系统，以致人们至今对它的生理结构和工作机理还未完全弄清楚。因此，对人脑的真正和完全模拟一时还难以办到。所以，目前的结构模拟只是对人脑的局部或近似模拟。

这种方法也就是从群智能的层面对脑的智能进行模拟，一般是通过神经网络的“自学习”获得知识，再利用具有相关知识的神经网络直接解决问题。神经网络具有高度的并行分布性、很强的鲁棒性和容错性，它擅长模拟人脑的形象思维，便于实现人脑的低级感知功能，如图像、声音信息的识别和处理。

生理模拟、神经计算的方法早在 20 世纪 40 年代就已出现，但由于种种原因而发展缓慢，甚至一度出现低潮，直到 20 世纪 80 年代中期才重新崛起，现已成为人工智能研究中不可或缺的重要途径与方法。

采用生理模拟、神经计算方法的人工智能研究，称为生理学派、连接主义，其代表人物有 McCulloch、Pitts、F.Rosenblatt、T.Kohonen、J.Hopfield 等。

3. 行为模拟，控制进化

除了上述两种研究途径和方法外，还有一种基于“感知—行为”模型的研究途径和方法，我们称其为行为模拟法。这种方法是通过模拟人和动物在与环境的交互、控制过程中的智能活动和行为特性，如反应、适应、学习、寻优等，来研究和实现人工智能。基于这一方法研究人工智能的典型代表是 MIT 的 R.Brooks 教授，他研制的六足行走机器人（亦称为人造昆虫或机器虫）曾引起人工智能界的轰动。这个机器虫可以看做新一代的“控制论动物”，它具有一定的适应能力，是一个运用行为模拟即控制进化方法研究人工智能的代表作。事实上，R.Brooks 教授的工作代表了称为“现场（Situated）AI”的人工智能方向。现场 AI 强调智能系统与环境的交互，认为智能取决于感知和行动，智能行为可以不需要知识，提出“没有表示的智能”、“没有推理的智能”的观点，主张智能行为的“感知—动作”模式，认为人的智能、机器智能可以逐步进化，但只能在现实世界与周围环境的交互中体现出来。智能只能放在环境中才是真正的智能，智能的高低主要

表现在对环境的适应性上。

基于行为模拟方法的人工智能研究被称为行为主义、进化主义、控制论学派。行为主义曾强烈地批评传统的人工智能（主要指符号主义，也涉及连接主义）对真实世界的客观事物和复杂境遇，做了虚假的、过分简化的抽象。沿着这一途径，人们研制具有自学习、自适应、自组织特性的智能控制系统和智能机器人，并进一步展开了人工生命（AL）的研究。

4. 群体模拟，仿生计算

这一途径就是模拟生物群落的群体智能行为，从而实现人工智能。例如，模拟生物种群有性繁殖和自然选择现象而出现的遗传算法，进而发展为进化计算；模拟人体免疫细胞群而出现的免疫计算、免疫克隆计算及人工免疫系统；模拟蚂蚁群体觅食活动过程的蚁群算法；模拟鸟群飞翔的粒群算法和模拟鱼群活动的鱼群算法等。这些算法在解决组合优化等问题时表现出卓越的性能，而对这些智慧的模拟是通过一些诸如遗传、变异、选择、交叉、克隆等所谓的算子或操作来实现的，所以我们统称其为仿生计算。

仿生计算的特点是其成果可以直接付诸应用，解决工程问题和实际问题。目前这一研究途径方兴未艾，展现出诱人的前景。

5. 博采广鉴，自然计算

其实，人工智能的这些研究途径和方法的出现并非偶然。如前所述，至今人们对智能的科学原理还未完全弄清楚，所以，在这种情况下研究和实现人工智能的一个自然的思路就是模拟自然智能。起初，人们知道自然智能源于人脑，于是模拟人脑智能就是研究人工智能的一个首要途径和方法。后来，人们发现一些生命群体的行为也会表现出某些惊人的智能。于是，模拟这些群体的智能就成为研究人工智能的又一个重要途径和方法。现在，人们则进一步从生命、生态、系统、社会、数学、物理、化学，甚至经济等众多学科和领域寻找启发和灵感，展开人工智能的研究。

例如，人们从热力学和统计物理学所描述的高温固体材料冷却时，其原子的排列结构与能量的关系中得到启发，提出了“模拟退火算法”，该算法已是解决优化搜索问题的有效算法之一。又如，人们从量子物理学中的自旋和统计机理中得到启发，从而提出了量子聚类算法。再如，1994年阿德曼（Addman）使用现代分子生物技术，提出了解决哈密顿路径问题的DNA分子计算方法，并在试管里求出了此问题的解。

这些方法一般称为自然计算（Nature-inspired Computation, NC）。自然计算就是模仿或借鉴自然界的某种机理而设计计算模型，这类计算模型通常是一类具有自适应、自组织、自学习、自寻优能力的算法，如神经计算、进化计算、免疫计算、生态计算、量子计算、分子计算、DNA计算、复杂自适应系统等都属于自然计算。自然计算实际是传统计算的扩展，它是自然科学和计算科学相交叉而产生的研究领域，目前正在发展阶段。自然计算能够解决传统计算方法难以解决的各种复杂问题，在大规模复杂系统的最优化设计、优化控制、网络安全、创造性设计等领域具有很好的应用前景。

6. 原理分析，数学建模

这一途径就是通过对智能本质和原理的分析，直接采用某种数学方法来建立智能行为模型。例如，人们用概率统计原理（特别是贝叶斯定理）处理不确定性信息和知识，建立了统计模式识别、统计机器学习和不确定性推理的一系列原理和方法。又如，人们用数学中的距离、空间、函数、变换等概念和方法，开发了几何分类、支持向量机等模式识别和机器学习的原理和方法。再如，人们用集合、测度、函数等对不确切性信息和知识建模，建立不确切性信息处理的理论和技术体系。人工智能的这一研究途径和方法的特点也就是纯粹用人的智能去实现机器智能。

以上给出了当前人们研究人工智能的 6 种途径和方法。它们各有所长，也都有一定的局限性。因此，这些研究途径和方法并不能互相取代，而是并存和互补的关系。

1.4 人工智能技术的应用

人工智能技术的应用十分广泛，下面仅给出其中一些重要的应用领域和研究课题。

1. 难题求解

这里的难题，主要指那些没有算法解，或虽有算法解但在现有机器上无法实施或无法完成的困难问题。例如，智力性问题中的梵塔问题、 n 皇后问题、旅行商问题、博弈问题等，就是这样的难题；又如，现实世界中复杂的路径规划、车辆调度、电力调度、资源分配、任务分配、系统配置、地质分析、数据解释、天气预报、市场预测、股市分析、疾病诊断、故障诊断、军事指挥、机器人行动规划等，也是这样的难题。在这些难题中，有些是组合数学理论中所谓的非确定性多项式 (Nondeterministic Polynomial, NP) 问题或 NP 完全性 (Nondeterministic Polynomial Complete, NPC) 问题。NP 问题是指那些既不能证明其算法复杂性超出多项式界，又未找到有效算法的一类问题，而 NP 完全性问题又是 NP 问题中最困难的一种问题。例如，排课表问题就是一个 NP 完全性问题。

研究工程难题的求解是人工智能的重要课题，而研究智力难题的求解则具有双重意义：一方面，可以找到解决这些难题的途径；另一方面，由解决这些难题而发展起来的一些技术和方法可用于人工智能的其他领域。这也正是人工智能研究初期，研究内容基本上都集中于智力性的重要原因。例如，博弈问题就可为搜索策略、机器学习等研究提供很好的实际背景。

2. 自动规划、调度与配置

在上述的难题求解中，规划、调度与配置问题是实用性、工程性最强的一类问题。规划一般指设计制定一个行动序列，如机器人行动规划、交通路线规划。调度就是一种任务分派或者安排，如车辆调度、电力调度、资源分配、任务分配。调度的数学本质是给出两个集合间的一个映射。配置则是设计合理的部件组合结构即空间布局，如资源配置、系统配置、设备或设施配置。

从问题求解角度看，规划、调度、配置三者又有一定的内在联系，有时甚至可以互相转化。实际上，它们都属于人工智能经典问题之一的约束满足问题 (Constraint Satisfaction Problems, CSP)。这类问题的解决体现了计算机的创造性，所以规划、调度、配置问题求解也是人工智能的一个重要研究领域。

自动规划的研究始于 20 世纪 60 年代，最早的自动规划系统可以说就是 Simon 的通用问题求解系统 (GPS) 和 Green 方法。1969 年斯坦福研究所设计了著名的机器人动作规划系统 (STRIPS)，成为人工智能界的经典自动规划技术。之后，人们又开发了许多非经典规划技术，如排序 (或分层) 规划技术、动态世界规划技术、专用目的规划器等。进一步，人们又将机器学习和专家系统技术引入自动规划。在自动配置方面，1982 年卡内基-梅隆大学为 DEC 公司开发的计算机自动配置系统 XCOM (亦称 R1) 堪称一个典型代表。

另外，迅速发展的约束程序设计 (Constraint Programming, CP)，特别是约束逻辑程序设计 (Constraint Logic Programming, CLP) 也将为规划、调度和配置技术提供强大的技术支持。

3. 机器定理证明

机器定理证明也是人工智能的一个重要的研究课题，也是最早的研究领域之一。定理证明是

最典型的逻辑推理问题之一，它在发展人工智能方法上起过重大作用。如关于谓词演算中推理过程机械化的研究，帮助我们更清楚地了解到某些机械化推理技术的组成情况。很多非数学领域的任务，如医疗诊断、信息检索、规划制定和难题求解，都可以转化成一定理证明问题，所以机器定理证明的研究具有普遍的意义。

机器定理证明的方法主要有以下4类。

(1) 自然演绎法。自然演绎法的基本思想是依据推理规则，从前提和公理中可以推出许多定理，如果待证的定理恰在其中，则定理得证。

(2) 判定法。判定法即对一类问题找出统一的计算机上可实现的算法解。在这方面一个著名的成果是我国数学家吴文俊教授于1977年提出的初等几何定理证明方法。

(3) 定理证明器。定理证明器研究一切可判定问题的证明方法。

(4) 计算机辅助证明。计算机辅助证明是以计算机为辅助工具，利用机器的高速度和大容量，帮助人完成手工证明中难以完成的大量计算、推理和穷举。证明过程中得到的大量中间结果，又可以帮助人形成新的思路，修改原来的判断和证明过程，这样逐步前进直至定理得证。这种证明方法的一个重要成果就是，1976年6月美国的阿普尔(K. Appel)等人合作证明了124年来未能解决的四色定理，从而引起了全世界的轰动。一般来讲，适于计算机辅助证明的是这样一类问题：它需要检索的信息量极大，且证明过程需根据中间结果反复由人修改。

4. 自动程序设计

自动程序设计就是让计算机设计程序。具体来讲，就是人只要给出关于某程序要求的非常高级的描述，计算机就会自动生成一个能完成这个要求目标的具体程序。所以，这相当于给机器配置了一个“超级编译系统”，它能够对高级描述进行处理，通过规划过程生成所需的程序。但这只是自动程序设计的主要内容，它实际是程序的自动综合。自动程序设计还包括程序自动验证，即自动证明所设计程序的正确性。自动程序设计也是人工智能和软件工程相结合的研究课题。

5. 机器翻译

机器翻译就是完全用计算机作为两种语言之间的翻译。机器翻译由来已久。早在电子计算机问世不久，就有人提出了机器翻译的设想，随后就开始了这方面的研究。当时人们总以为只要用一部双向词典及一些语法知识就可以实现两种语言文字间的机器互译，结果遇到了挫折。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”；又如，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“酒是好的，肉变质了”，即“The wine is good but the meat is spoiled”。这些问题的出现才使人们发现机器翻译并非如想象的那么简单，并使得人们认识到单纯地依靠“查字典”的方法不可能解决翻译问题，只有在对语义理解的基础上，才能做到真正的翻译。所以，机器翻译的真正实现还要靠自然语言理解方面的突破。

6. 智能控制

智能控制就是把人工智能技术引入控制领域，建立智能控制系统。智能控制具有以下两个显著的特点。第一，智能控制是同时具有知识表示的非数学广义世界模型和传统数学模型混合表示的控制过程，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过程，并以知识进行推理，以启发来引导求解过程。第二，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，即决策与规划，以实现广义问题求解。

智能控制系统的智能可归纳为以下几方面。

(1) 先验智能。有关控制对象及干扰的先验知识，可以从一开始就考虑在控制系统的设计中。

(2) 反应性智能。在实时监控、辨识及诊断的基础上,对系统及环境变化的正确反应能力。

(3) 优化智能。优化智能包括对系统性能的先验性优化及反应性优化。

(4) 组织与协调智能。组织与协调智能表现为对并行耦合任务或子系统之间的有效管理与协调。

智能控制的开发,目前认为有以下途径。

- 基于专家系统的专家智能控制。
- 基于模糊推理和计算的模糊控制。
- 基于人工神经网络的神经网络控制。
- 综合以上3种方法的综合型智能控制。

7. 智能管理

智能管理就是把人工智能技术引入管理领域,建立智能管理系统。智能管理是现代管理科学技术发展的新动向。智能管理是人工智能与管理科学、系统工程、计算机技术及通信技术等多学科、多技术互相结合、互相渗透而产生的一门新技术、新学科。它研究如何提高计算机管理系统的智能水平,以及智能管理系统的设计理论、方法与实现技术。

智能管理系统是在管理信息系统、办公自动化系统、决策支持系统的功能集成和技术集成的基础上,应用专家系统、知识工程、模式识别、人工神经网络等方法和技术,进行智能化、集成化、协调化,设计和实现的新一代计算机管理系统。

8. 智能决策

智能决策就是把人工智能技术引入决策过程,建立智能决策支持系统。智能决策支持系统是在20世纪80年代初提出来的,它是决策支持系统与人工智能,特别是专家系统相结合的产物。它既充分发挥了传统决策支持系统中数值分析的优势,也充分发挥了专家系统中知识及知识处理的特长,既可以进行定量分析,又可以进行定性分析,能有效地解决半结构化和非结构化的问题,从而扩大了决策支持系统的范围,提高了决策支持系统的能力。

智能决策支持系统是在传统决策支持系统的基础上发展起来的,由传统决策支持系统再加上相应的智能部件就构成了智能决策支持系统。智能部件可以有多种模式,如专家系统模式、知识库系统模式等。专家系统模式是把专家系统作为智能部件,这是比较流行的一种模式,该模式适合于以知识处理为主的问题,但它与决策支持系统的接口比较困难。知识库系统模式是以知识库作为智能部件,在这种情况下,决策支持系统就是由模型库、方法库、数据库、知识库组成的四库系统,这种模式接口比较容易实现,其整体性能也较好。

一般来说,智能部件中包含如下一些知识。

- 建立决策模型和评价模型的知识。
- 如何形成候选方案的知识。
- 建立评价标准的知识。
- 如何修正候选方案,从而得到更好候选方案的知识。
- 完善数据库,改进对它的操作及维护的知识。

9. 智能通信与智能化网络

智能通信与智能化网络就是把人工智能技术引入通信和网络领域,建立智能通信和智能化网络系统。具体来讲,就是在通信和网络系统的各个层次和环节上实现智能化。例如,在网络的构建、网管与网控、转接、信息传输与转换、网上信息的搜集与检索等环节实现智能化,从而使网络的构建更加方便、快捷、经济,使网络运行在最佳状态,使呆板的网变成活化的网,使其具有自适应、自组织、自学习、自修复等功能,提供更为安全、高效的各种信息服务。

10. 智能仿真

智能仿真就是将人工智能技术引入仿真领域，建立智能仿真系统。我们知道，仿真是对动态模型的实验，即行为产生器在规定的实验条件下驱动模型，从而产生模型行为。具体地说，仿真是在3种类型的知识——描述性知识、目的性知识及处理知识的基础上产生另一种形式的知识——结论性知识。因此可以将仿真看做是一个特殊的知识变换器，从这个意义上讲，人工智能与仿真有着密切的关系。

利用人工智能技术能对整个仿真过程（包括建模、实验运行及结果分析）进行指导，能改善仿真模型的描述能力，在仿真模型中引进知识表示将为研究面向目标的建模语言打下基础，提高仿真工具面向用户、面向问题的能力。从另一方面来讲，仿真与人工智能相结合可使仿真更有效地用于决策，更好地用于分析、设计及评价知识库系统，从而推动人工智能技术的发展。正是基于这些方面，将人工智能特别是专家系统与仿真相结合，就成为仿真领域中一个十分重要的研究方向。

11. 智能 CAD

智能 CAD（简称 ICAD）就是把人工智能技术引入计算机辅助设计领域，建立 ICAD 系统。事实上，AI 几乎可以应用到 CAD 技术的各个方面。从发展的趋势来看，至少有以下4个方面。

- (1) 设计自动化。
- (2) 智能交互。
- (3) 智能图形学。
- (4) 自动数据采集。

从具体技术来看，ICAD 技术大致可分为如下几种方法。

- (1) 规则生成法。
- (2) 约束满足方法。
- (3) 搜索法。
- (4) 知识工程方法。
- (5) 形象思维方法。

12. 智能制造

智能制造就是在数控技术、柔性制造技术和计算机集成制造技术的基础上，引入智能技术。智能制造系统由智能加工中心、材料传送检测和实验装置等智能设备组成。它具有一定的自组织、自学习和自适应能力，能在不可预测的环境下，基于不确定、不精确、不完全的信息，完成拟人的制造任务，进行高度自动化生产。

13. 智能 CAI

智能 CAI 就是把人工智能技术引入计算机辅助教学领域，建立智能 CAI 系统，即 ICAI。ICAI 的特点是能对学生因材施教，它具备下列智能特征。

- 自动生成各种问题与练习。
- 根据学生的水平和学习情况自动选择与调整教学内容与进度。
- 在理解教学内容的基础上自动解决问题，生成解答。
- 具有自然语言的生成和理解能力。
- 对教学内容有解释咨询能力。
- 能诊断学生错误，分析原因并采取纠正措施。
- 能评价学生的学习行为。
- 能在教学中不断地改善教学策略。

为了实现上述 ICAI 系统,一般把整个系统分成专业知识、教导策略和学生模型 3 个基本模块和一个自然语言的智能接口。

随着网络化的到来,ICAI 已是人工智能的一个重要应用领域和研究方向,引起了人工智能界和教育界的极大关注和共同兴趣。

14. 智能人机接口

智能人机接口就是智能化的人机交互界面,也就是将人工智能技术应用于计算机与人的交互过程,使人机界面更加灵性化、拟人化、个性化。显然,这也是当前人机交互的迫切需要和人机接口技术发展的必然趋势。事实上,智能人机接口已成为计算机、网络和人工智能等学科共同关注和通力合作的研究课题。该课题涉及机器感知特别是图形图像识别与理解、语音识别、自然语言处理、机器翻译等诸多 AI 技术,另外,还涉及多媒体、虚拟现实等技术。

15. 模式识别

识别是人和生物的基本智能信息处理能力之一。事实上,我们几乎每时每刻都在对周围世界进行着识别。而所谓的模式识别,则是指用计算机进行物体识别。这里的物体一般指文字、符号、图形、图像、语音、声音、传感器信息等形式的实体对象,而并不包括概念、思想、意识等抽象或虚拟对象,后者的识别属于心理、认知及哲学等学科的研究范畴。也就是说,这里所说的模式识别是狭义的模式识别,它是人和生物的感知能力在计算机上的模拟和扩展。经过多年的研究,模式识别已发展成为一个独立的学科,其应用十分广泛。诸如在信息、遥感、医学、影像、安全、军事等领域,模式识别已经取得了重要成效,特别是基于模式识别而出现的生物认证、数字水印等新技术方兴未艾。

16. 数据挖掘与数据库中的知识发现

随着计算机、数据库、互联网等信息技术的飞速发展,人类社会所拥有的各种各样的数据与日俱增。例如,企业中出现了以数据仓库为存储单位的海量数据,互联网上的 Web 页面更以惊人的速度不断增长。面对这些堆积如山、浩如烟海的数据,人们已经无法用人工方法或传统方法从中获取有用的信息和知识,而事实上这些数据中不仅承载着大量的信息,同时也蕴藏着丰富的知识。于是,如何从这些数据中归纳、提取出高一级的更本质、更有用的规律性信息和知识,就成为人工智能的一个重要研究课题。也正是在这样的背景下,数据挖掘(Data Mining, DM)与数据库中的知识发现(Knowledge Discovery in Databases, KDD)技术应运而生。

其实,数据挖掘(也称数据开采、数据采掘等)和数据库中的知识发现的本质含义是一样的,只是前者主要在统计、数据分析、数据库、信息系统等领域流行,后者则主要在人工智能和机器学习等领域流行。所以,现在有关文献中一般都把二者同时列出。

DM 与 KDD 现已成为人工智能应用的一个热门领域和研究方向,其涉及范围非常广泛,如企业数据、商业数据、科学实验数据、管理决策数据、Web 数据等的挖掘和发现。

17. 计算机辅助创新

计算机辅助创新(Computer Aided Innovation, CAI)是以“发明问题解决理论(TRIZ)”为基础,结合本体论(Ontology)、现代设计方法学、计算机技术而形成的一种用于技术创新的新技术手段。近年来,CAI 在欧美国家迅速发展,成为新产品开发中的一项关键基础技术。计算机辅助创新可以看做机器发明创造的初级形式。

TRIZ 是由俄语拼写的单词首字母组成,用英语也可缩写为 TIPS(Theory of Inventive Problem Solving)。TRIZ 是由前苏联的 Genrich Altshuller 等人在分析了全世界近 250 万件高水平的发明专利,并综合多学科领域的原理和法则后建立起来的一种发明创造理论和方法。TRIZ 是

由解决技术问题和实现创新开发的各种方法、算法组成的综合理论体系。TRIZ 的基本原理是：企业和科学技术领域中的问题和解决方案是重复出现的；企业和科学技术领域的发展变化也是重复出现的；高水平的创新活动经常应用到专业领域以外的科学知识。因此，技术系统的进化遵循客观的法则群，人们可以应用这些进化法则预测产品的未来发展趋势，把握新产品的开发方向。在解决技术问题时，如果不明确应该使用哪些科学原理法则，则很难找到问题的解决对策。TRIZ 就是提供解决问题的科学原理并指明解决问题的探索方向的有效工具。同时，产品创新需要和自然科学与工程技术领域的基本原理以及人类已有的科研成果建立千丝万缕的联系，而各学科领域知识之间又具有相互关联的特性。显然，对这些关联特性的有效利用会大大加快创新进程。

基于 TRIZ，人们已经开发出了不少计算机辅助创新软件，如以下几种。

- 发明机器 (Invention Machine) 公司开发的 TechOptimizer 就是一个计算机辅助创新软件系统。TechOptimizer 软件是基于知识的创新工具，它以 TRIZ 为基础，结合现代设计方法学、计算机辅助技术及多学科领域的知识，以分析解决产品及其制造过程中遇到的矛盾为出发点，从而可解决新产品开发过程中遇到的技术难题而实现创新，并可为工程技术领域新产品、新技术的创新提供科学的理论指导，并指明探索方向。

- 亿维讯 (IWINT, Inc.) 公司的计算机辅助创新设计平台 (Pro/Innovator)。它基于 TRIZ，将发明创造方法学、现代设计方法学与计算机软件技术融为一体。它能够帮助设计者在概念设计阶段有效地利用多学科领域的知识，打破思维定式，拓宽思路，准确发现现有技术中存在的问题，找到创新性的解决方案，保证产品开发设计方向正确的同时实现创新。它已成为全球研究机构、知名大学、企业解决工程技术难题、实现创新的有效工具。这种基于知识的创新工具能帮助技术人员在不同工程领域产品的方案设计阶段，根据市场需求，正确地发现并迅速解决产品开发中的关键问题，高质量、高效率地提出可行的创新设计方案，并将设计引向正确方向，为广大企业提高自主创新能力、实现系统化创新提供行之有效的方法和方便实用的创新工具。

- 基于知识发现的计算机辅助创新智能系统 (CAIISKD)。这是国内学者研制的一个以创新工程与价值工程为理论基础，以知识发现为技术手段，以专家求解问题的认知过程为主线，以人机交互为贯穿的多层递阶、综合集成的计算机辅助创新智能系统。

18. 计算机文艺创作

在文艺创作方面，人们也尝试开发和运用人工智能技术。事实上，现在计算机创作的诗词、小说、乐曲、绘画时有报道。例如，下面两首“古诗”就是计算机创作的。

云松

銮仙玉骨寒，
松虬雪友繁。
大千收眼底，
斯调不同凡。

无题

白沙平舟夜涛声，
春日晓露路相逢。
朱楼寒雨离歌泪，
不堪肠断雨乘风。