

高等学校教材

人工智能及其应用

Artificial Intelligence Principles and Applications

王万良 编著



高等教育出版社

高等学校教材

人工智能及其应用

Artificial Intelligence

Principles and Applications

王万良 编著

涂序彦 主审

高等教育出版社

内容简介

本书是一本内容基础性强、可读性好、适合讲授的人工智能教材。作者希望读者通过学习本书,能够掌握人工智能的基本内容,并能了解人工智能研究的一些前沿内容,为进一步学习和研究人工智能理论与应用奠定基础。

全书共9章。第1章绪论;第2章知识表示;第3章确定性推理方法;第4章不确定性推理方法;第5章搜索求解策略;第6章专家系统;第7章机器学习;第8章人工神经网络及其应用;第9章遗传算法及其应用。附录中给出了本书的习题解答。

本书可作为计算机、信息、控制、机电以及其他专业研究生、本科生学习人工智能课程的教材。由于书中几大部分内容相对独立,教师可以根据课程的学时计划灵活选择相关内容。本书也可供希望掌握人工智能技术的研究人员与工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

人工智能及其应用 / 王万良编著. —北京:高等教育出版社, 2005.3

ISBN 7-04-017063-9

I. 人... II. 王... III. 人工智能 IV. TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第009130号

策划编辑 韩颖 责任编辑 郑欢 封面设计 刘晓翔 责任绘图 朱静
版式设计 胡志萍 责任校对 俞声佳 责任印制 韩刚

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landaco.com
经 销	北京蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landaco.com.cn
印 刷	天津新华印刷二厂		
开 本	787×960 1/16	版 次	2005年3月第1版
印 张	19.5	印 次	2005年3月第1次印刷
字 数	360 000	定 价	24.50元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 17063-00

前 言

人工智能是目前迅速发展新兴学科,已经成为许多高新技术产品中的核心技术。由于人工智能是模拟人类智能解决问题的方法,几乎在所有领域都具有广泛的应用,所以目前许多专业的研究生,特别是计算机、电子信息、控制、机电类专业,都开设了“人工智能及其应用”课程,并且许多学校已经为本科生开设这门课程。随着人工智能技术的发展,将有越来越多的专业开设这门课程。因此,人工智能课程的教材建设具有重要意义。

本书作者从1993年开始,一直为控制科学与工程、计算机科学与技术、机械工程等专业的研究生以及计算机、自动化等专业的本科生讲授“人工智能及其应用”课程,深感需要编著一本内容基础性强、可读性好、适合讲授的教材。本书正是作者基于这个指导思想,在多年来的教学积累基础上编写的。

由于人工智能是非常广泛的技术,许多理论与技术还在发展之中,这就使得这门课程教学内容选择非常困难。本书力图使读者掌握人工智能的最基本内容,为进一步学习和研究人工智能奠定基础。同时又能涉及人工智能研究的一些前沿内容,为读者的研究工作提供帮助。本书的初稿经过多届全日制研究生、工程硕士、本科生的教学实践,取得了较好的教学效果。特别是为研究生的科学研究提供了非常大的帮助,使许多学生取得了丰硕成果。

全书共9章。第1章除了介绍人工智能的基本概念、发展简史,还着重介绍了目前人工智能的主要研究内容与应用领域,以开阔读者的视野,引导读者进入人工智能研究领域。第2章介绍一阶谓词逻辑、产生式、框架、语义网络等基本的知识表示方法。第3章介绍基于谓词逻辑的确定性推理方法。详细介绍了在自动定理证明中具有重要地位的鲁宾逊归结原理。通过多个典型例题清楚地介绍了将谓词公式化为子句集的方法,详细讲述了利用归结原理证明定理和求解问题的方法。第4章介绍不确定性推理方法。介绍了主观Bayes方法、可信度方法、证据理论等推理方法。还介绍了模糊逻辑推理方法。第5章介绍了基于搜索的问题求解策略。第6章介绍了专家系统的概念、工作原理、建立方法,简单介绍了几个典型的专家系统实例以及开发工具。第7章简单介绍了机器学习的概念与基本方法。最后,第8章与第9章介绍了目前人工智能的两个热点研究课题。第8章介绍了

人工神经网络的基本理论与方法,着重介绍了应用广泛的 BP 神经网络及其学习算法和 Hopfield 神经网络。结合作者的科研成果,介绍了神经网络在软测量与求解旅行商问题、生产调度等优化问题中的应用,试图启发读者如何应用神经网络解决工程实际问题。第 9 章介绍了遗传算法及其几个主要的改进算法。结合作者的科研成果,介绍了遗传算法在求解生产调度问题中的应用。附录中给出了本书习题的简要解答。

本书主要作为计算机、信息、控制、机电以及其他专业研究生、本科生学习人工智能课程的教材。由于书中几大部分内容相对独立,可以容易地根据课程计划学时选择部分内容,仍可保持课程体系结构的完整性。本书也可以供希望运用人工智能技术的研究人员与工程技术人员参考。

本书在编写过程中得到浙江工业大学专著与研究生教材出版基金资助。本书涉及的作者的部分科研成果是在国家自然科学基金(60374056)基于自治与协作机制的不确定生产过程动态调度方法及其应用、国家 863 计划(863-511-945-002)面向流程工业生产调度与过程控制的集成建模技术、国家 863 计划(2002AA412610)流程工业企业生产计划与实时调度技术及软件、浙江省科技计划(012047)生产计划与调度的智能算法软件包研制等项目资助下取得的。

本书由浙江工业大学信息工程学院王万良教授编著。浙江工业大学赵燕伟教授参编了第 2、6 章,徐新黎老师参编了第 8 章并协助整理了习题解答。本书承蒙中国人工智能学会名誉理事长、北京科技大学涂序彦教授主审,在此深表谢意!值本书出版之际,衷心感谢我的导师、同济大学教授、教育部吴启迪副部长对我在人工智能领域深入研究的指导;感谢我的导师、重庆大学曹长修教授在 1989 年将我引入人工智能研究领域;感谢涂序彦、蔡自兴、王永庆、王士同等许多专家学者,正是通过讲授他们的著作使本人受益匪浅,同时本书也吸取了这些教材中的精华;感谢浙江水利水电高等专科学校罗云霞副教授非常仔细阅读与校对了本书初稿,提出了许多有益的建议;最后还要感谢研究生们对书稿精心的校对。

由于作者水平有限,书中可能存在许多缺点和错误,请各位读者提出宝贵意见。作者联系地址: wwlzyw@mail.hz.zj.cn; wwl@zjut.edu.cn

王万良

2004 年 12 月于杭州

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 人工智能的基本概念.....	1
1.2 人工智能的发展简史.....	5
1.3 人工智能研究的基本内容.....	9
1.4 人工智能的主要研究领域.....	11
思考题.....	16
第 2 章 知识表示	17
2.1 知识与知识表示的概念.....	17
2.2 一阶谓词逻辑表示法.....	21
2.3 产生式表示法.....	30
2.4 框架表示法.....	37
2.5 语义网络表示法.....	42
思考题.....	48
习题.....	49
第 3 章 确定性推理方法	51
3.1 推理的基本概念.....	51
3.2 自然演绎推理.....	61
3.3 谓词公式化为子句集的方法.....	63
3.4 海伯伦定理.....	68
3.5 鲁宾逊归结原理.....	70
3.6 归结反演.....	74
3.7 应用归结原理求解问题.....	77
思考题.....	80
习题.....	80
第 4 章 不确定性推理方法	83
4.1 不确定性推理的基本概念.....	83
4.2 概率方法.....	87
4.3 主观 Bayes 方法.....	90
4.4 可信度方法.....	101
4.5 证据理论.....	105

4.6 模糊推理方法	111
思考题	126
习题	126
第 5 章 搜索求解策略	129
5.1 搜索的概念	129
5.2 状态空间的搜索策略	131
5.3 盲目的图搜索策略	135
5.4 启发式图搜索策略	144
5.5 与/或图搜索策略	155
思考题	157
习题	157
第 6 章 专家系统	159
6.1 专家系统的产生和发展	159
6.2 专家系统的概念	160
6.3 专家系统的工作原理	165
6.4 知识获取	168
6.5 专家系统的建立	171
6.6 专家系统实例	177
6.7 专家系统的开发工具	186
思考题	192
第 7 章 机器学习	193
7.1 机器学习的基本概念	193
7.2 机械式学习	199
7.3 指导式学习	200
7.4 归纳学习	201
7.5 类比学习	208
7.6 解释学习	211
7.7 机器学习方法的比较与展望	214
思考题	216
第 8 章 人工神经网络及其应用	217
8.1 神经元与神经网络	217
8.2 BP 神经网络及其学习算法	221
8.3 BP 神经网络在软测量中的应用	225
8.4 Hopfield 神经网络及其应用	228
8.5 Hopfield 神经网络优化方法求解 TSP	240

8.6 Hopfield 神经网络优化方法求解 JSP	242
思考题	252
习题	252
第 9 章 遗传算法及其应用	253
9.1 遗传算法的产生与发展	253
9.2 遗传算法的基本算法	256
9.3 遗传算法的改进算法	271
9.4 基于遗传算法的生产调度方法	277
思考题	285
习题	285
附录 习题解答	286
参考文献	301

第1章 绪 论

人工智能（Artificial Intelligence，简称 AI）是在计算机科学、控制论、信息论、神经心理学、哲学、语言学等多种学科研究的基础上发展起来的一门综合性很强的交叉学科，是一门新思想、新观念、新理论、新技术不断出现的新兴学科以及正在迅速发展的前沿学科。

自 1956 年正式提出人工智能这个术语并把它作为一门新兴科学的名称以来，人工智能获得了迅速的发展，并取得了惊人的成就，引起了人们的高度重视，受到了很高的评价，它与空间技术、原子能技术一起被誉为 20 世纪三大科学技术成就。有人称它为继三次工业革命后的又一次革命，认为前三次工业革命主要是延长了人手的功能，把人类从繁重的体力劳动中解放出来，而人工智能则是延伸了人脑的功能，实现了脑力劳动的自动化。

本章将首先介绍人工智能的基本概念，然后简要介绍当前人工智能的主要研究内容及其应用领域。

1.1 人工智能的基本概念

1.1.1 智能的概念

人工智能是用机器实现人类的智能。因此，下面首先讨论人类的智能行为。

智能及智能的本质是古今中外许多哲学家、脑科学家一直在努力探索和研究的问题，但至今仍然没有完全了解，以致智能的发生与物质的本质、宇宙的起源、生命的本质一起被列为自然界四大奥秘。

近年来，随着脑科学、神经心理学等研究的进展，人们对人脑的结构和功能有了初步认识，但对整个神经系统的内部结构和作用机制，特别是脑的功能原理还没有认识清楚，有待进一步的探索。因此，很难对智能给出确切的定义。

目前，根据对人脑已有的认识，结合智能的外在表现，从不同的角度、不同的侧面、用不同的方法对智能进行研究，提出了几种不同的观点，其中影响较大的观点有思维理论、知识阈值理论及进化理论等。

（1）思维理论。认为智能的核心是思维，人的一切智能都来自大脑的思维活动，人类的一切知识都是人类思维的产物，因而通过对思维规律与方法的研究可望揭示智能的本质。

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

(3) 进化理论。认为人的本质能力是在动态环境中的行走能力、对外界事物的感知能力、维持生命和繁衍生息的能力。正是这些能力对智能的发展提供了基础, 因此智能是某种复杂系统所浮现的性质, 是由许多部件交互作用产生的, 智能仅仅由系统总的行为以及行为与环境的联系所决定, 它可以在没有明显的可操作的内部表达的情况下产生, 也可以在没有明显的推理系统出现的情况下产生。该理论的核心是用控制取代表示, 从而取消概念、模型及显式表示的知识, 否定抽象对于智能及智能模拟的必要性, 强调分层结构对于智能进化的可能性与必要性。这是由美国麻省理工学院(MIT)的布鲁克(R. A. Brook)教授提出来的。1991年他提出了“不需知识的智能”, 1992年又提出了“没有推理的智能”, 这是他根据对人造机器动物的研究与实践提出的与众不同的观点。目前这一观点尚未形成完整的理论体系, 有待进一步的研究, 但由于它与人们的传统看法完全不同, 因而引起了人工智能界的注意。

综合上述各种观点, 可以认为: 智能是知识与智力的总和。其中, 知识是一切智能行为的基础, 而智力是获取知识并应用知识求解问题的能力。

1.1.2 智能的特征

智能具有如下显著的特征:

1. 具有感知能力

感知能力是指通过视觉、听觉、触觉、味觉、嗅觉等感觉器官感知外部世界的的能力。

感知是人类获取外部信息的基本途径, 人类的大部分知识都是通过感知获取有关信息, 然后经过大脑加工获得的。如果没有感知, 人们就不可能获得知识, 也不可能引发各种智能活动。因此, 感知是产生智能活动的前提。

根据有关研究, 视觉与听觉在人类感知中占有主导地位, 大约80%以上的外界信息是通过视觉得到的, 有10%是通过听觉得到的。因此, 在人工智能的机器感知研究方面, 主要研究机器视觉及机器听觉。

2. 具有记忆与思维能力

记忆与思维是人脑最重要的功能, 是人具有智能的根本原因。记忆用于存储由感知器官感知到的外部信息以及由思维所产生的知识; 思维用于对记忆的信息进行处理, 即利用已有的知识对信息进行分析、计算、比较、判断、推理、

联想及决策等。思维是一个动态过程，是获取知识以及运用知识求解问题的根本途径。

思维可分为逻辑思维、形象思维以及顿悟思维等。

(1) 逻辑思维，又称为抽象思维，它是一种根据逻辑规则对信息进行处理的理性思维方式。人们首先通过感觉器官获得外部事物的感性认识，将它们存储于大脑中，然后通过匹配选出相应的逻辑规则，并且作用于已经表示成一定形式的已知信息，进行相应的逻辑推理。这种推理一般都比较复杂，一般不是用一条规则做一次推理就能够解决问题，而是要对第一次推出的结果再运用新的规则进行新一轮的推理。推理是否成功取决于两个因素：一是用于推理的规则是否完备；二是已知的信息是否完善、可靠。如果推理规则是完备的，由感性认识获得的初始信息是完善、可靠的，则通过逻辑思维可以得到合理、可靠的结论。

逻辑思维具有如下特点：

- ① 依靠逻辑进行思维；
- ② 思维过程是串行的，表现为一个线性过程；
- ③ 容易形式化，其思维过程可以用符号串表达出来；
- ④ 思维过程具有严密性、可靠性，能对事物未来的发展给出逻辑上合理的预测，可使人们对事物的认识不断深化。

(2) 形象思维，又称为直感思维，它是一种以客观现象为思维对象、以感性形象认识为思维材料、以意象为主要思维工具、以指导创造物化形象的实践为主要目的的思维活动。思维过程有两次飞跃。第一次飞跃是从感性形象认识到理性形象认识的飞跃，即把对事物的感觉组合起来，形成反映事物多方面属性的整体性认识（即知觉），再在知觉的基础上形成具有一定概括性的感觉反映形式（即表象），然后经形象分析、形象比较、形象概括及组合形成对事物的理性形象认识。第二次飞跃是从理性形象认识到实践的飞跃，即对理性形象认识进行联想、想象等加工，在大脑中形成新的意象，然后回到实践中，接受实践的检验。这个过程不断循环，就构成了形象思维从低级到高级的运动发展。

形象思维具有如下特点：

- ① 主要是依据直觉，即感觉形象进行思维；
- ② 思维过程是并行协同式的，表现为一个非线性过程；
- ③ 形式化困难，没有统一的形象联系规则，对象不同、场合不同，形象的联系规则亦不相同，不能直接套用；
- ④ 在信息变形或缺少的情况下仍有可能得到比较满意的结果。

由于逻辑思维与形象思维分别具有不同的特点，因而可分别用于不同的场合。当要求迅速做出决策而不要求十分精确时，可用形象思维，但当要求进行

严格的论证时，就必须用逻辑思维；当要对一个问题进行假设、猜想时，需用形象思维，而当要对这些假设或猜想进行论证时，则要用逻辑思维。人们在求解问题时，通常把这两种思维方式结合起来使用，首先用形象思维给出假设，然后再用逻辑思维进行论证。

(3) 顿悟思维，又称为灵感思维，它是一种显意识与潜意识相互作用的思维方式。当我们遇到一个无法解决的问题时，会“苦思冥想”，这时大脑处于一种极为活跃的思维状态，会从不同的角度、用不同的方法去寻求解决问题的方法。有时一个“想法”从脑中涌现出来，使人“茅塞顿开”，问题便迎刃而解。像这样用于沟通有关知识或信息的“想法”通常被称为灵感。灵感也是一种信息，可能是与问题直接有关的一个重要信息，也可能是一个与问题并不直接相关、且不起眼的信息，只是由于它的到来使解决问题的智慧被启动起来了。顿悟思维比形象思维更复杂，至今人们还不能确切地描述灵感的机理。

顿悟思维具有如下特点：

- ① 具有不定期的突发性；
- ② 具有非线性的独创性及模糊性；
- ③ 它穿插于形象思维与逻辑思维之中，起着突破、创新及升华的作用。

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

3. 具有学习能力

学习是人的本能。人人都在通过与环境的相互作用不断地学习，从而积累知识，适应环境的变化。学习既可能是自觉的、有意识的，也可能是不自觉的、无意识的；既可以是有教师指导的，也可以是通过自己实践的。

4. 具有行为能力

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

1.1.3 人工智能

所谓人工智能就是用人工的方法在机器（计算机）上实现的智能，或者说人们使机器具有类似于人的智能。由于人工智能是在机器上实现的，因此，又称为机器智能（Machine Intelligence）。

关于“人工智能”的含义，早在它正式提出之前，就由英国数学家图灵（A. M. Turing）提出了。1950年他发表了题为“计算机与智能”（Computing

Machinery and Intelligence) 的论文, 文章以“机器能思维吗?”开始, 论述并提出了著名的“图灵测试”, 形象地指出了什么是人工智能以及机器应该达到的智能标准, 现在许多人仍把它作为衡量机器智能的准则。图灵在这篇论文中指出不要问机器是否能思维, 而是要看它能否通过如下测试: 分别让人与机器位于两个房间里, 他们可以通话, 但彼此都看不到对方, 如果通过对话, 作为人的一方不能分辨对方是人还是机器, 那么就可以认为对方的那台机器达到了人类智能的水平。为了进行这个测试, 图灵还设计了一个很有趣且智能性很强的对话内容, 称为“图灵的梦想”。

实际上, 要使机器达到人类智能的水平, 是非常困难的, 但是, 人工智能的研究正朝着这个方向前进, 图灵的梦想总有一天会变成现实。特别是在专业领域内, 人工智能能够充分利用计算机的特点, 具有显著的优越性。

人工智能是一门研究如何构造智能机器(智能计算机)或智能系统, 使它能模拟、延伸、扩展人类智能的学科。通俗地说, 人工智能就是要研究如何使机器具有能听、会说、能看、会写、能思维、会学习、能适应环境变化、能解决各种面临的实际问题等功能的一门学科。

1.2 人工智能的发展简史

回顾人工智能的发展历史, 可归结为孕育、形成和发展三个阶段。

1.2.1 孕育(1956年之前)

自古以来, 人们就一直试图用各种机器来代替人的部分脑力劳动, 以提高人们征服自然的能力。其中对人工智能的产生、发展有重大影响的主要研究成果有以下几个方面:

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

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

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

(4) 英国逻辑学家布尔(G. Boole)致力于使“思维规律”形式化和实现

机械化，并创立了布尔代数。他在《思维法则》一书中首次用符号语言描述了思维活动的基本推理法则。

(5) 英国数学家图灵在 1936 年提出了一种理想计算机的数学模型，即图灵机，为后来电子数字计算机的问世奠定了理论基础。

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

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

由上面的发展过程可以看出，人工智能的产生和发展绝不是偶然的，它是科学技术发展的必然产物。

1.2.2 形成 (1956~1969 年)

1956 年夏季，由当时麻省理工学院的年轻数学助教、现任斯坦福大学教授麦卡锡 (J. McCarthy) 联合他的三位朋友：哈佛大学年轻数学家和神经学家、现任麻省理工学院教授明斯基 (M.L.Minsky)、IBM 公司信息研究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 (C.E.Shannon) 共同发起，邀请 IBM 公司的莫尔 (T.Moore) 和塞缪尔 (A.L.Samuel)、麻省理工学院的塞尔夫里奇 (O.Selfridge) 和索罗莫夫 (R.Solomonff) 以及兰德 (RAND) 公司和卡内基-梅隆大学的纽厄尔 (A.Newell)、西蒙 (H.A.Simon) 等 10 名年轻学者在美国达特莫斯 (Dartmouth) 大学召开了一次为时两个月的学术研讨会，讨论关于机器智能的问题。会上经麦卡锡提议正式采用了“人工智能”这一术语，麦卡锡因而被称为人工智能之父。这是一次具有历史意义的重要会议，它标志着人工智能作为一门新兴学科正式诞生了。此后，美国形成了多个人工智能研究组织，如纽厄尔和西蒙的 Carnegie RAND 协作组，明斯基和麦卡锡的 MIT 研究组，塞缪尔的 IBM 工程研究组等。

自这次会议之后的 10 多年间，人工智能的研究在机器学习、定理证明、模式识别、问题求解、专家系统及人工智能语言等方面都取得了许多引人注目的成就，例如：

(1) 在机器学习方面，1957 年 Rosenblatt 研制成功了感知机。这是一种将神经元用于识别的系统，它的学习功能引起了科学家们广泛的兴趣，推动了连接机制的研究，但人们很快发现了感知机的局限性。

(2) 在定理证明方面，美籍华人数理逻辑学家王浩于 1958 年在 IBM-704 机器上用 3~5 min 证明了《数学原理》中有关命题演算的全部定理 (220 条)，

并且还证明了谓词演算中 150 条定理的 85%；1965 年鲁宾逊 (I.A.Robinson) 提出了归结原理，为定理的机器证明做出了突破性的贡献。

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

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

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

(6) 在人工智能语言方面，1960 年麦卡锡研制出了人工智能语言 LISP，成为建造智能系统的重要工具。

1969 年成立的国际人工智能联合会议 (International Joint Conferences On Artificial Intelligence, 简称 IJCAI) 是人工智能发展史上一个重要的里程碑，它标志着人工智能这门新兴学科已经得到了世界的肯定和公认。1970 年创刊的国际性的人工智能杂志 (Artificial Intelligence) 对推动人工智能的发展，促进研究者们的交流起到了重要的作用。

1.2.3 发展 (1970 年以后)

进入 20 世纪 70 年代，许多国家都开展了人工智能的研究，涌现出了大量的研究成果。例如，1972 年法国马赛大学的科麦瑞尔 (A.Comerauer) 提出并实现了逻辑程序设计语言 PROLOG，斯坦福大学的肖特里菲 (E.H.Shortliffe) 等人从 1972 年开始研制用于诊断和治疗感染性疾病的专家系统 MYCIN。

但是，和其他新兴学科的发展一样，人工智能的发展道路也不是平坦的。例如，机器翻译的研究没有像人们最初想像的那么容易。当时人们总以为只要一部双向词典及一些词法知识就可以实现两种语言文字间的互译，后来发现机器翻译远非这么简单。实际上，由机器翻译出来的文字有时会出现十分荒谬的错误。例如，当把英语 “Out of sight, out of mind” 翻译成俄语时变成 “又瞎又疯”；当把 “心有余而力不足” 的英语句子 “The spirit is willing but the flesh is weak” 翻译成俄语，然后再翻译回来时竟变成了 “The wine is good but the meat

is spoiled”，即“酒是好的，但肉变质了”；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”。由于机器翻译出现的这些问题，英国、美国当时中断了对大部分机器翻译项目的资助。在其他方面，如问题求解、神经网络、机器学习等也都遇到了困难，使人工智能的研究一时陷入了困境。

人工智能研究的先驱者们认真反思，总结前一段研究的经验和教训。1977年费根鲍姆在第五届国际人工智能联合会议上提出了“知识工程”的概念，对以知识为基础的智能系统的研究与建造起到了重要的作用。大多数人接受了费根鲍姆关于以知识为中心展开人工智能研究的观点。从此，人工智能的研究又迎来了蓬勃发展的以知识为中心的新时期。

这个时期中，专家系统的研究在多种领域中取得了重大突破，各种不同功能、不同类型的专家系统如雨后春笋般地建立起来，产生了巨大的经济效益及社会效益。例如，地矿勘探专家系统 PROSPECTOR 拥有 15 种矿藏知识，能根据岩石标本及地质勘探数据对矿藏资源进行估计和预测，能对矿床分布、储藏量、品位及开采价值等进行推断，制定合理的开采方案，应用该系统成功地找到了超亿美元的钼矿。专家系统 MYCIN 能识别 51 种病菌，正确地处理 23 种抗菌素，可协助医生诊断、治疗细菌感染性血液病，为患者提供最佳处方，该系统成功地处理了数百病例，并通过了严格的测试，显示出了较高的医疗水平。美国 DEC 公司的专家系统 XCON 能根据用户要求确定计算机的配置，由专家做这项工作一般需要 3 小时，而该系统只需要 0.5 分钟，速度提高了 300 多倍。DEC 公司还建立了另外一些专家系统，由此产生的净收益每年超过 4 000 万美元。信用卡认证辅助决策专家系统 American Express 能够防止不应有的损失，据说每年可节省 2 700 万美元左右。

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

人工智能在博弈中的成功应用也令举世瞩目。人们对博弈的研究一直抱有极大的兴趣，早在 1956 年人工智能刚刚作为一门学科问世时，塞缪尔就研制出了跳棋程序。这个程序能从棋谱中学习，也能从下棋实践中提高棋艺，1959 年它击败了塞缪尔本人，1962 年又击败了一个州的冠军。1991 年 8 月在悉尼举行的第 12 届国际人工智能联合会议上，IBM 公司研制的 Deep Thought 2 计算机系统就与澳大利亚象棋冠军约翰森 (D.Johansen) 举行了两场人机对抗赛，结果以 1:1 平局告终。

1996年2月10日至17日,为了纪念世界上第一台电子计算机诞生50周年,美国IBM公司出巨资邀请国际象棋棋王卡斯帕罗夫(Kasparov)与IBM公司的深蓝计算机系统进行了六局“人机大战”。这场比赛被人们称为“人脑与电脑的世界决战”。参赛的双方分别代表了人脑和电脑的世界最高水平。当时的深蓝是一台运算速度达每秒1亿次的超级计算机。第一盘,深蓝就给卡斯帕罗夫一个下马威,赢了这位世界冠军,给世界棋坛以极大的震动。但卡斯帕罗夫总结经验,稳扎稳打,在剩下的五盘中赢三盘,平两盘,最后以总比分4:2获胜。一年后,即1997年5月3日至11日,深蓝再次挑战卡斯帕罗夫。这时,深蓝是一台拥有32个处理器和强大并行计算能力的RS/6000 SP/2的超级计算机,运算速度达每秒2亿次。计算机里存储了百余年来世界顶尖棋手的棋局。5月3日棋王卡斯帕罗夫首战击败深蓝,5月4日深蓝扳回一盘,之后双方平三局。双方的决胜局于5月11日拉开了帷幕,卡斯帕罗夫在这盘比赛中仅仅走了19步便放弃了抵抗,比赛用时只有1小时多一点。这样,深蓝最终以3.5比2.5的总比分赢得这场世人瞩目的“人机大战”的胜利。深蓝的胜利表明了人工智能所达到的成就。尽管它的棋路还远非真正的对人类思维方式的模拟,但它已经向世人说明,电脑能够以人类远远不能企及的速度和准确性,实现属于人类思维的大量任务。深蓝精湛的残局战略使观战的国际象棋专家们大为惊讶。卡斯帕罗夫也表示:“这场比赛中有许多新的发现,其中之一就是计算机有时也可以走出人性化的棋步。在一定程度上,我不能不赞扬这台机器,因为它对盘势因素有着深刻的理解,我认为这是一项杰出的科学成就。”

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

1.3 人工智能研究的基本内容

1. 知识表示

世界上的每一个国家或民族都有自己的语言和文字,它是人们表达思想、交流信息的工具,促进了人类的文明及社会的进步。人类语言和文字是人类知识表示的最优秀、最通用的方法,但人类语言和文字的知识表示方法并不适合于计算机处理。

人工智能研究的目的是要建立一个能模拟人类智能行为的系统。为达到这个目的就必须研究人类智能行为在计算机上的表示形式,只有这样才能把知识存储到计算机中去,供求解现实问题使用。

知识表示(knowledge representation)就是将人类知识形式化或者模型化。