

《新世纪高等学校计算机系列教材》组织机构

顾问（以汉语拼音为序）

顾冠群（中国工程院院士，东南大学校长）

李 未（中国科学院院士，国务院学位委员会委员，北京航空航天大学教授）

陆汝钤（中国科学院院士，中国科学院软件所研究员）

潘云鹤（中国工程院院士，浙江大学校长）

孙钟秀（中国科学院院士，南京大学教授）

王 珉（教授，博导，江苏省人民政府副省长）

王 荣（研究员，江苏省教育厅厅长）

杨芙清（中国科学院院士，北京大学教授）

周兴铭（中国科学院院士，国防科技大学教授）

编辑委员会

主任 徐宝文

副主任（以汉语拼音为序）

史忠植 陈道蓄 文宏武

委员

蔡家楣	陈 纯	陈道蓄	程自强	胡学龙
付育熙	何炎祥	怀进鹏	金远平	鞠时光
刘方鑫	吕 建	梅 宏	钱培德	秦小麟
瞿裕忠	史忠植	宋方敏	王 茜	王怀民
王汝传	王士同	王绍棣	王志坚	文宏武
夏士雄	徐宝文	徐汀荣	徐福培	须文波
张 宏	张 明	张茂坤	张荣琴	张岳新
张在跃	周傲英			

新世纪高等学校计算机系列教材

人工智能教程

	王士同		主编
陈慧萍	赵跃华	钱旭	编著
	陈世福		主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书系统地介绍了人工智能的基本原理和相关的应用领域。全书共有9章,分别介绍人工智能概况及发展、知识表达技术、基本的问题求解方法、基本的推理技术、不精确推理、PROLOG语言、专家系统、机器学习和人工神经网络。

本书内容丰富、条理清楚,各部分都配有例题,每章后给出相当数量的习题,以帮助读者理解和掌握正文的内容。

本书可作为计算机、信息处理、自动化及相关专业的本科生及专科生的教材或教学参考书,也可供有关专业领域科技人员使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究。

图书在版编目(CIP)数据

人工智能教程/王士同主编 —北京:电子工业出版社,2001 10

新世纪高等学校计算机专业系列教材

ISBN 7-5053-6716-1

I 人 II 王 III 人工智能—高等学校—教材 IV TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 071559 号

丛 书 名·新世纪高等学校计算机系列教材

书 名:人工智能教程

主 编:王士同

编 著 者:陈慧萍 赵跃华 钱 旭

主 审:陈世福

责任编辑:张荣琴 洪国芬

特约编辑:王宝祥

排版制作:电子工业出版社计算机排版室监制

印 刷 者:北京天竺颖华印刷厂

装 订 者:三河市金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张·18 字数·472千字

版 次:2001年10月第1版 2001年10月第1次印刷

书 号: ISBN 7-5053-6716-1
TP·3750

印 数·5000册 定价·23.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页、所附磁盘或光盘有问题者,请向购买书店调换;
若书店售缺,请与本社发行部联系调换。电话 68279077

总 序

为了认真贯彻《中国教育改革和发展纲要》和教育部“面向 21 世纪教育振兴行动计划”精神,适应现代社会、经济、科技、文化,特别是教育的发展方向,适应培养新世纪计算机人才的需要,根据计算机科学技术学科发展和新世纪高等学校教学内容和课程体系改革的要求,我们决定编写这套《新世纪高等学校计算机系列教材》。

教学改革和教学质量是高等学校的头等大事。教学改革的关键在于教材的改革,我们组织编写这套系列教材的指导思想是:立足于新世纪培养创造型开拓型人才的培养目标,立足于高速发展的计算机科学技术,科学地预测本学科前沿发展趋势;注重教材内容的思想性、科学性、先进性、系统性和广泛的适应性,继承与改革现有教材内容和体系;注重加强能力的培养,切实提高学生的综合素质。同时,为了适合我国国情,适应绝大多数高等学校计算机科学与技术专业类的教师知识结构和课程改革的实际情况,一方面,我们尽力拓宽教材内容,充实和加强有关理论,引用新的科技成果;另一方面,我们兼顾各门课程的历史、现状与发展,在具体章节的内容编排上力求循序渐进,顺理成章。在保证学科系统的前提下,充分考虑到学生的接受能力,使教材体系尽量符合学生的认知规律,便于学生接受、理解、掌握和巩固所学知识,促使学生学以致用,理论密切联系实际。

本套系列教材的组织编写得到了中国计算机学会、江苏省计算机学会的大力支持和帮助,凝聚了参加编审出版工作的许多教师和编辑的心血和汗水,在此一并对他们表示衷心的感谢。

限于我们的水平、能力和经验,本套系列教材的编审与出版工作一定还存在着很多错漏和其他不如意之处,我们真诚地希望使用这套教材的高校教师、学生和广大读者积极提出宝贵意见,以鞭策我们不断提高教材的编写、修订和出版质量,为我国的计算机科学技术专业教材建设服务。

《新世纪高等学校计算机系列教材》编辑委员会

前 言

人工智能诞生于 20 世纪 50 年代,迄今为止,已取得了惊人的成就,在许多领域得到了广泛的应用,被誉为 20 世纪的重大科技成就之一,并成为 20 世纪的带头学科。

人工智能是一门前沿和交叉学科,它的研究领域十分广泛,涉及到专家系统、定理证明、博弈、自然语言理解、智能检索、机器学习、机器人、模式识别等领域。目前,在全国许多高校都开设此课程,其参考学时一般在 50 学时左右。

本教材简明而全面地介绍了人工智能的基础理论和基本技术,力求做到取材新颖、通俗易懂。全书共分 9 章,第 1 章叙述人工智能的定义、发展简史及其研究领域;第 2 章介绍知识的各种表达法;第 3 章介绍基本的问题求解技术,重点介绍启发式搜索技术;第 4 章介绍基本的推理技术;第 5 章介绍不精确推理技术;第 6 章介绍人工智能语言 PROLOG 语言;第 7 章介绍专家系统;第 8 章介绍机器学习的各种基本方法;第 9 章介绍神经网络的基本结构和学习方法,重点介绍前馈型神经网络和 Hopfield 神经网络。

本教材在参考了国内许多现有教材的基础上,第 1,9 章由王士同教授编写;第 2,8 章由钱旭副教授编写;第 3,6 章由赵跃华副教授编写;第 4,5,7 章由陈慧萍副教授编写。全书由王士同教授为主、赵跃华副教授协助完成统稿(编著者按姓氏笔画排序)。本教材由南京大学陈世福教授主审。

在本教材编写过程中,徐宝文教授给予了关心和指导,并得到电子工业出版社的帮助和支持,在此深表感谢。

由于作者水平有限,书中难免有缺点和错误,恳切希望广大读者指正。

编著者
2001 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 人工智能概述	(1)
1.1.1 什么是人工智能	(1)
1.1.2 什么是自然智能	(2)
1.2 人工智能的发展史	(3)
1.2.1 第一阶段——孕育期(1956 年以前)	(3)
1.2.2 第二阶段——人工智能基础技术的研究和形成(1956 年 ~ 1970 年)	(5)
1.2.3 第三阶段——发展和实用化阶段(1971 年 ~ 1980 年)	(5)
1.2.4 第四阶段——知识工程与专家系统(1980 年至今)	(7)
1.3 人工智能的研究领域	(9)
1.3.1 专家系统(Expert System)	(9)
1.3.2 自然语言处理(Natural Language Processing)	(9)
1.3.3 机器学习(Machine Learning)	(10)
1.3.4 自动定理证明(Automatic Theorem Proving)	(11)
1.3.5 分布式人工智能(Distributed Artificial Intelligence)	(11)
1.3.6 机器人(Robots)	(12)
1.3.7 模式识别(Pattern Recognition)	(13)
1.3.8 博弈(Game Playing)	(14)
1.3.9 计算机视觉(Computer Vision)	(14)
1.3.10 人工神经网络(Artificial Neural Network)	(15)
习题 1	(15)
第 2 章 知识表达技术	(16)
2.1 知识的概念与含义	(16)
2.2 知识类型和知识模型的变换	(16)
2.2.1 知识类型	(17)
2.2.2 知识模型的变换	(17)
2.3 状态空间表达法	(18)
2.3.1 状态空间表达法的概念	(18)
2.3.2 状态空间表达法的例子	(19)
2.4 与/或图表达法	(20)
2.4.1 与/或图表达法的概念	(20)
2.4.2 与/或图表达法的例子	(21)
2.5 产生式系统	(22)
2.5.1 产生式系统的基本结构	(22)
2.5.2 产生式系统的表示	(24)
2.5.3 产生式系统的例子	(25)

2.6	知识的逻辑表达方法	(27)
2.6.1	命题逻辑	(28)
2.6.2	谓词逻辑	(31)
2.6.3	一阶谓词逻辑表达方法	(32)
2.6.4	谓词逻辑表达法的特性和应用	(34)
2.7	语义网络	(35)
2.7.1	语义网络的概念和特性	(35)
2.7.2	语义网络的知识表示	(36)
2.8	框架表达法	(42)
2.8.1	框架的构成	(42)
2.8.2	框架系统与产生式系统的结合	(46)
2.9	特征表表达法	(49)
2.10	面向对象的表示	(50)
2.10.1	对象、消息和方法	(50)
2.10.2	类、类层次和继承性	(51)
2.10.3	面向对象知识表示与语义网络、框架系统的比较	(52)
	习题2	(53)
第3章	基本的问题求解方法	(55)
3.1	状态空间搜索概述	(55)
3.1.1	图的概念	(55)
3.1.2	状态空间的图描述	(56)
3.1.3	问题的状态空间的图描述	(56)
3.1.4	将问题求解定义为状态空间搜索	(58)
3.1.5	搜索的基本概念	(60)
3.2	盲目的图搜索策略	(61)
3.2.1	搜索策略概述	(61)
3.2.2	回溯策略	(62)
3.2.3	宽度优先搜索	(65)
3.2.4	深度优先搜索	(67)
3.2.5	图搜索	(70)
3.3	启发式图搜索策略	(71)
3.3.1	启发式策略	(71)
3.3.2	启发信息和估价函数	(73)
3.3.3	启发式图搜索法——A 及 A* 搜索算法	(75)
3.3.4	A* 搜索算法的讨论	(78)
3.4	与/或图搜索	(80)
3.4.1	与/或图的概念	(80)
3.4.2	AO 及 AO* 搜索算法	(82)
3.4.3	博弈树搜索	(86)
3.5	通用问题求解技术简介	(93)
3.5.1	概述	(93)
3.5.2	GPS 系统	(94)
3.6	中间-结局分析法	(95)

3.6.1	概念	(95)
3.6.2	中间-结局分析法分析步骤	(96)
3.6.3	讨论	(97)
3.7	生成与测试	(98)
3.8	约束与满足	(99)
	习题 3	(102)
第 4 章	基本的推理技术	(104)
4.1	推理技术概述	(104)
4.1.1	推理的概念和类型	(104)
4.1.2	推理的控制策略	(106)
4.2	归结反演系统	(110)
4.2.1	归结原理	(110)
4.2.2	归结反演	(114)
4.2.3	归结反演的控制策略	(116)
4.2.4	应用归结反演求取问题的答案	(118)
4.3	基于规则的演绎推理	(120)
4.3.1	正向演绎推理	(120)
4.3.2	反向演绎推理	(125)
4.3.3	双向演绎推理	(127)
	习题 4	(128)
第 5 章	不精确推理	(130)
5.1	概述	(130)
5.2	概率方法	(132)
5.2.1	概率论基础	(132)
5.2.2	概率推理模型	(134)
5.3	主观 Bayes 方法	(135)
5.3.1	不确定性的表示	(135)
5.3.2	主观 Bayes 方法推理的基本算法	(137)
5.4	可信度方法	(142)
5.4.1	基于可信度的不确定性的表示	(142)
5.4.2	可信度方法推理的基本算法	(144)
5.5	模糊推理	(147)
5.5.1	模糊理论基础	(147)
5.5.2	语言变量及模糊推理	(150)
	习题 5	(151)
第 6 章	PROLOG 语言	(153)
6.1	PROLOG 语言概述	(153)
6.1.1	PROLOG 语言的发展	(153)
6.1.2	PROLOG 语言的特点	(153)
6.2	PROLOG 语言的结构	(154)
6.2.1	数据结构	(154)
6.2.2	程序结构	(155)

6.3	PROLOG 语言的内部谓词	(157)
6.3.1	比较类	(157)
6.3.2	表达式类	(157)
6.3.3	输入输出类	(158)
6.3.4	文件操作类	(158)
6.3.5	控制谓词类	(158)
6.3.6	复杂目标类	(159)
6.3.7	项类	(159)
6.3.8	结构分量类	(159)
6.3.9	项维护类	(160)
6.4	PROLOG 语言的搜索策略	(161)
6.4.1	例化与匹配	(161)
6.4.2	回溯控制	(162)
6.4.3	搜索策略	(164)
6.5	谓词! 的讨论	(165)
6.5.1	谓词! 的作用	(165)
6.5.2	用法及举例	(167)
6.6	PROLOG 程序设计	(169)
6.6.1	数学函数	(170)
6.6.2	八皇后问题	(171)
6.6.3	专家系统示意	(173)
6.7	PROLOG 语言与 C 语言的连接	(176)
6.7.1	语言条件	(176)
6.7.2	外部谓词说明	(176)
6.7.3	参数传递	(176)
6.7.4	外部 C 语言子程序	(177)
6.7.5	两个限制	(178)
	习题 6	(179)
第 7 章	专家系统	(181)
7.1	专家系统的定义与分类	(181)
7.1.1	专家系统的定义与特点	(181)
7.1.2	专家系统的类型	(183)
7.2	专家系统的结构与工作原理	(187)
7.2.1	专家系统的一般结构	(187)
7.2.2	专家系统的工作原理	(187)
7.3	知识获取	(189)
7.3.1	知识获取的任务	(190)
7.3.2	知识获取的模式	(191)
7.4	专家系统的建立	(192)
7.4.1	适于专家系统求解的问题	(192)
7.4.2	专家系统的设计原则与开发步骤	(193)
7.4.3	专家系统的评价	(196)
7.5	专家系统实例	(197)

7.5.1	动物识别专家系统	(197)
7.5.2	医学专家系统——MYCIN	(199)
7.5.3	地质勘探专家系统——PROSPECTOR	(207)
7.6	专家系统的开发工具	(210)
7.6.1	用于开发专家系统的程序设计语言	(210)
7.6.2	骨架系统	(210)
7.6.3	通用型知识表达语言	(214)
7.6.4	专家系统开发环境	(214)
	习题7	(215)
第8章	机器学习	(216)
8.1	机器学习概述	(216)
8.1.1	机器学习的基本概念	(216)
8.1.2	机器学习的主要策略	(217)
8.1.3	机器学习系统的基本结构	(217)
8.1.4	机器学习系统的主要特性	(219)
8.2	机械学习	(221)
8.2.1	机械学习的模式及主要问题	(221)
8.2.2	机械学习应用举例	(222)
8.3	相关产生式学习系统	(224)
8.3.1	相关产生式的概念	(224)
8.3.2	相关产生式学习方法	(224)
8.4	示例学习	(225)
8.4.1	示例学习模型	(226)
8.4.2	基于示例学习的一般过程	(227)
8.4.3	示例的表示	(229)
8.4.4	示例复用	(231)
8.4.5	示例保存	(232)
8.5	类比学习	(232)
8.5.1	类比学习的概念	(232)
8.5.2	类比学习的表示与求解	(234)
8.6	几种类比学习系统介绍	(235)
8.6.1	转换类比学习系统	(235)
8.6.2	派生类比学习	(240)
8.6.3	因果关系型类比学习	(240)
8.6.4	联想类比学习	(243)
8.7	归纳学习	(244)
8.7.1	归纳学习概述	(244)
8.7.2	归纳学习的一般模式	(245)
8.7.3	类型定义	(245)
8.7.4	结构归纳学习及示例	(246)
8.7.5	基于决策树的归纳学习方法	(250)
	习题8	(252)
第9章	人工神经网络	(253)

9.1 人工神经网络概述	(253)
9.2 人工神经元模型	(254)
9.3 人工神经网络结构及工作方式	(255)
9.4 神经网络的学习方法	(257)
9.4.1 学习方式	(257)
9.4.2 学习规则	(257)
9.4.3 学习与自适应	(258)
9.5 前馈型神经网络	(259)
9.5.1 前馈型神经网络结构	(259)
9.5.2 利用 BP 算法进行网络训练	(261)
9.6 神经联想记忆与 Hopfield 网络	(266)
9.6.1 神经联想记忆	(266)
9.6.2 Hopfield 网络	(267)
9.6.3 Hopfield 网络的一个范例	(272)
习题 9	(274)
参考文献	(275)

第 1 章 绪 论

1.1 人工智能概述

1.1.1 什么是人工智能

人工智能(Artificial Intelligence)简称 AI,又称机器智能(Machine Intelligence),是计算机科学中一门新兴的边缘学科。

人工智能诞生于 1956 年,至今已有四十多年的历史,研究成果不断,并得到了广泛的应用。虽然人工智能科学家从不同角度对人工智能进行了各种描述,但至今尚无严格的定义。1981 年,费根鲍姆(E. A. Feigenbaum)教授在“人工智能手册”中指出:“人工智能是计算机科学中的一个分支,涉及到智能计算机系统的设计,该系统显示人类行为中与智能有关的某些特征”。绍特里夫教授(E. A. Shortliffe)于 1984 年在“规则基专家系统”一文中指出:“人工智能是计算机科学中的一个分支,它研究问题求解的符号方法和非算法方法”。M. Boden(1997 年)认为人工智能是“利用计算机程序和程序设计技术来认识普通的智能原理和具体的人类思想”。

人工智能就是让机器完成那些如果由人来做则需要智能的事情的科学。但这个定义没有说出智能的本质,我们知道,对人来说做哪些复杂的计算通常认为需要智能,但一般的人工智能研究者很少把这些计算列入人工智能的领域。常常以问题求解、推理和博弈等活动来说明人工智能的一些特征。另一种方法就是用更通用的术语列出人工智能的目标,这样就可给出人工智能的一个实用的定义。例如,A. Sloman(1978 年)认为人工智能有 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)构造智能的人工制品。

他还给出了下列各种考虑,如智能行为与“构造、描述、解释、比较、修改和使用复杂的结构,包括像句子、图画、地图和行为计划等符号结构”的能力有关。更进一步地说,即人工智能的研究与其他科目的研究相重叠,这些科目都要用到推理,如心理学、教育学、人类学和生理学等。很显然,如果不研究词法和语义学就无法让计算机理解自然语言。

当然,还有其他许多种定义,这里不再赘述。众所周知,传统程序就是告诉机器干什么以及如何干,而如何干则是靠人设计出方法给出算法并写出程序而实现的。AI 程序只要求机器知道干什么,只要把问题描述清楚,机器就能自动实现求解。包括由“数值计算”过渡到“符号处理”。表 1.1 列出了人工智能程序和通常计算机程序的不同。

总之,人工智能是一个非常广义的词语,基于人工智能技术编写的程序,能使计算机具有人类在处理问题所需要的智能。当机器像一个知识渊博的专家那样工作时,它能工作得很出色甚至有时会超过它们的导师。例如,人工智能研究者已创造出各种实用的专家系统,它们具有高级工程师的专门知识和权威,可在某种程度上模仿人的思维和记忆,因此能够诊断疾病,

勘探地下矿产和地下水,能够理解和翻译书面材料等。普遍的观点认为人工智能的研究是困难的,这种观点在一定程度上是因为对“智能”这个概念产生的畏惧,所以讨论一下自然智能是十分必要的。

表 1.1 人工智能程序和通常计算机程序的比较

人工智能程序	通常计算机程序
主要是符号处理 启发式搜索 控制结构和知识域相分离 易于修改、更新和改变 允许不正确的答案	主要是数字处理 依靠算法 信息和控制连接在一起 难以修改 要求正确的回答

1.1.2 什么是自然智能

定义人工智能的主要困难就是“智能”本身不易被人们理解,至今对智能是什么还没有统一的看法,“智能”一词源于拉丁“Legere”,意思是收集、汇集,智能通常用来表示从中进行选择、理解和感觉。Feigenbaum 和 McCorduck(1983 年)曾解释:如果我们能够研制一个人工制品,它具有收集、汇集、选择、理解和感觉的功能,那么我们就认为该人工制品具有“智能”。

本书主要讨论建立机器智能,但我们对自然智能也应当有所了解。人工智能工作者不可避免地要仔细地研究自然智能,以识别自然智能的关键特征和决定性的属性。对于生物系统中的智能行为有了深入的理解和清晰的概念,就可以在人工制品中研究如何加入智能因素了。

所谓自然智能就是人类和一些动物所具有的智力和行为能力。事实上,人们关于自然智能的观点是随着生物学的发展和人工制品的新性能的出现而不断地变化,即智能有多方面的含义,而人工智能的发展将有助于阐明一个聪明的生物种类的内部秘密。

在日常应用中,“智能”和它的衍生词“智力”是同义词,说这个人或那个人聪明一般是不会被弄错含义的,也就是说“智力”是人类的一个特征。但是当我们试图定义“智能”时,我们就会发现这个词变得难以捉摸了。它是用来处理数字、单词或其他符号的吗?它是否与世界上的实际动作有关?它对创造和发明是否有影响?是在精神活动中还是在实际行动中才能发现智力?智力是如何与意志、学习、记忆和情绪等现象相关联的?这一系列问题出现在我们面前。后来人们发现可以通过人工制品来建立智力的度量而无须完全了解自然智能的实质。但了解了人类智能,对机器来说,可以知道哪些是可能实现的,哪些是现在或将来不可能实现的。

关于自然智能的类型是多方面的,我们通常认为智力包括解决问题,进行多种运算,学习和处理各种新情况的能力。智力是针对具体情况的,根据不同的情况有不同的含义。例如我们说教授、经理、医生等处于责任重大岗位的,是聪明的,但有时我们又会陷入以下悖论:“某某人既然是那么聪明,他的行为或他说的话为何有时却非常愚蠢?”这就告诉我们要识别不同类型的智能,例如卓越的数学家也许没有政治远见,一个著名的医生可能口才很差等现象。智能可以是“行为上的”、“口头上的”和“哲学上的”等,这些区别对于理解人工智能是很重要的。现在的计算机看起来像个很熟练的数学家,但对于需要判断和处理常识的任务则不太胜任。正如,生物智能已经演化了好几百万年了,在从幼稚到成熟的过程中扩展了智能的种类,类似地,计算机智能也有一个演化的过程。

有时需要区别智力和具体的能力,“智力”是指学会某种技能的能力,而不是指技能本身,因此,一个要用一个月时间来掌握一个简单的微分方程的人,就不如一个只用几天就学会的人

聪明；一种技能可以在一段漫长的时间内通过艰苦的努力获得，而该种技能的存在也对应着某种智力，当然有些技能是无法传授给某些人的。

获取技能的能力是一种综合的能力，而技能则又有多种，以往对人工智能的一种批语就是不同的人人工智能程序只是针对不同的孤立的任務，如游戏、定理证明、故事描述等，而缺乏真实的智能的综合性特点，很显然，这是一个很能说明问题的批评，人工智能工作者正在积极地攻克该问题。实际上计算机可以很容易地扩展人工智能程序的能力范围，例如纽厄尔(Newell)等研制的通用问题求解程序系统 GPS(General Problem Solving)已经具有所需的综合能力。

智能的定义和描述有多种，这是列出常见的数种定义和描述：

- (1) 善于判断、理解和推理。
- (2) 综合智力主要是指“相互关系的训练”。
- (3) 形成要领和掌握含义的能力。
- (4) 全面考试的能力或思维的效率。
- (5) 先天的、综合的和认知的能力。
- (6) 智力活动包括在某一情况下抓住本质并对他们作出适当的反应。
- (7) 适当地行动、理智地思考、有效地适应环境的总体能力。
- (8) 身体和社会环境的适应性。

以上定义和描述中的各种能力：判断、理解、推理、形成概念、适当的反应和适应性等说明了智力具有多面性的本质。例如人工智能研究者 D Hofstadter 认为“智能中最重要的能力包括适应环境，适应偶然性事件，能分辨模糊或矛盾的信息，在孤立的情况中找出相似性，产生新要领和思想”。

1.2 人工智能的发展史

人工智能与物理和化学等古老的学科不同，它没有悠久的历史，至今不过四十多年。由于人工智能是计算机科学的一个重要分支，并且共长于同一块土壤，所以人工智能的历史从某种意义上来说是计算机科学的历史，计算机的早期历史也说明了智能机器的来源，随着数字电子计算机的问世，这个新的科学领域开始出现了。人工智能的产生发展过程大致可以分为如下 4 个阶段。

1.2.1 第一阶段——孕育期(1956 年以前)

17 世纪法国的数学和物理学家帕斯卡(Pascal)于 1647 年制造了一台有效的机械加法器。接着德国数学家莱布尼茨(Leibniz)制成了能够实现乘法和除法的计算器。

被人们誉为“现代计算机之父和人工智能鼻祖”的英国数学家巴贝奇(Babbage)在 1821 年发明了两台最先进的差分机和分析机。其中分析机的设计思想与现代电子计算机十分相似。他当时就阐明了一台通用计算机系统的重要组成部分：输入设备(把数字输入计算机)、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)和输出设备(把运算的结果告诉用户)。他提出的这五个主要组成部分，为电子计算机的发展奠定了基础。

著名的英国逻辑学家和哲学家乔治·布尔(G.Boole, 1815 年~1864 年)致力于使“思维规律”形式化和实现机械化，发明了布尔代数。由布尔开创的布尔代数后来得到了成功的应用，成为现今开关理论和数字逻辑的基础。

由霍勒瑞斯(H. Hollerith)设计的用于分析 1890 年美国人口统计的制表机是第一台使用非机械处理的计算机,即是由电流来使计数器加 1 的方法,该方法是由 IBM 公司研制的。

1941 年德国人雷色(K. Zuse)用电子机械的继电器研制成功的机电计算机 Z3 中第一次采用了二进制运算。接着,美国 IBM 公司和美国哈佛大学合作于 1944 年研制了第一台正式运转的机电式通用计算机 Harvard Mark I 型,用 3s 的时间完成一次 10 位数的乘法,投资高达 50 万美元。

1946 年由美国人毛奇莱(Mauchly)和艾克特(Eckert)在宾夕法尼亚大学摩尔电工学院研制成功世界上第一台电子计算机 ENIAC(Electronic Numerical Integrator And Computer)。1945 年冯·诺依曼(John VonNeumann)第一次提出存储程序的概念,成为计算机迄今被普遍采纳的冯·诺依曼结构。1951 年,他又设计成功存储程序计算机 EDVAC 系统(Electronic Discrete Variable Automatic Computer)。接着,在 1948 年 Norbert Wiener 提出了一门具有广泛影响的新学科控制论,它是研究和模拟自控制的生物和人工系统的科学,从而根据动物心理学和行为进行研究和分析具体的计算机系统的基础自然形成。

20 世纪 40 年代在数字计算机中使用了电子元件,由于电子器件的工艺革新和换代,从电子管、晶体管、集成电路到大规模集成电路等四代,以及正发展着的第五代,从而使现代电子数字计算机踏上了高速发展的道路。

上述成果为人工智能的诞生和发展创造了良好的条件,人工智能的先驱者卡内基-梅隆大学的艾伦·纽厄尔教授曾写道:“电子计算机技术为把智能行为具体表现在当今世界各地提供可能性。”电子计算机的速度、功能和软件迅速发展,其智能行为很快地随之而来。

最早给人工智能奠定理论基础的就是天才的英国数学家阿伦·图灵(A. Turing, 1912 年 ~ 1954 年)。在 20 世纪,可能第一个认识到计算机能实现智能行为的人是图灵。1937 年他发表了一篇关于“可计算数学”的文章,其中提出了“通用图灵机”的概念,他提出只要给出适当的指令表,一台图灵机就能处理任何数学过程。图灵提出的这个模型提前十年描述了后来出现的计算机系统。所以“可计算数学”这篇文章后来被人们认为是计算机科学史上最重要的里程碑之一。

在第二次世界大战期间,图灵和现代计算机的先驱者一起工作,战争结束后,他于 1947 年回到英国剑桥大学度假,在这里他考虑了 ACE 计算机系统可以模拟人类大脑的活动,并写了一篇关于人工智能的预言性文章“计算机和智能”。在这篇文章中,图灵直接提出了机器能否思考的问题,并明确地提出了计算机能够被程序控制及可以显示智能行为的观点。另外该文章的另一重要贡献是他提出的“图灵测试”。接着香农(C Shannon)发表了一篇有影响的关于计算机能够下棋的文章。人工智能研究的序曲鸣响了。人工智能的诞生已经是势不可挡,正像躁动于母腹中的婴儿很自然地问世了。

在人工智能漫长的孕育期中,数学家、物理学家和哲学家创立的数理逻辑、自动机理论、控制论、信息论和系统论等,特别是通用电子数字计算机的发明,电子器件的工艺革新和换代引起了电子计算机的迅速发展,上述的成就为人工智能的诞生准备了充足的思想、理论和物质条件。在数学、逻辑学、心理学、哲学、生物学及计算机科学等多学科相互渗透下,1956 年在美国的达特茅斯召开了由十多位数学、心理学和信息论方面的学者参加的关于利用计算机模拟人类智能行为的学术会,讨论会上麦卡锡(M McCarthy)教授正式提出了“人工智能”这一术语。这是一次具有历史意义的会议,标志着人工智能也称机器智能(Machine Intelligence)这门新兴边缘学科的正式诞生。

1.2.2 第二阶段——人工智能基础技术的研究和形成(1956年~1970年)

解决疑难问题是人工智能早期的主要成果之一。它导致了解决问题技术的发展,即推动了搜索技术和降低问题难度等问题的研究,其中启发式搜索技术取得了很大的进展。

纽厄尔和西蒙等在1956年首先合作研制成功“逻辑理论机LT”(The Logic Theory Machine)。该系统是第一个处理符号而不是处理数字的计算机程序,是机器证明数学定理的最早尝试。该系统模拟人类用数理逻辑证明定理的思想,采用分解、代人和替换等规则证明了罗素(B. A. W Russel)和怀特海的名著《数学原理》第2章52条定理中的38条。从此,计算机的一般应用与人工智能的界限第一次被清楚地划分出来。学者们认为这是第一个实用的人工智能程序,象征着人工智能研究的真正开端。

1956年另一项重大的开创性工作塞缪尔研制成功“跳棋程序”。玩游戏也是早期人工智能的研究领域之一,塞缪尔在IBM公司从事机器学习跳棋程序就是早期成功的例子。该程序具有自改善、自适应、可以积累经验和学习等能力,这是模拟人类学习和智能的一次卓有成效的突破,该程序于1959年击败了它的设计者,在1962年又击败了美国一个州的跳棋冠军。此事曾引起了世界性的大轰动。

接着,纽厄尔和西蒙在1960年又编制成功“通用问题求解程序GPS(General Problem Solving)系统”,用来解决诸如不定积分、三角函数、代数方程等十几种性质不同的问题,它和LT程序都是首次在计算机上运行的启发式程序。从此,定理的机器证明成了人工智能研究的基本课题之一。

1960年麦卡锡提出并研制成功“表处理语言LISP”,它不仅能处理数值,而且可以更方便地处理符号,适用于符号微积分计算、数学定理证明、数理逻辑中的命题演算、博弈、图像识别以及人工智能研究的其他各领域,从而武装了一代人工智能科学家,成为人工智能程序设计语言的重要里程碑,至今仍然是研究人工智能的良好工具。

人工智能工作者经过一段时间的实验研究发现,人工智能系统要解决现实世界中的许多复杂问题,不能只有一般的问题求解方法,还需要解决问题的有关领域中的专门知识。缺少知识去处理一个无限制的领域是困难的。要使高速计算机工作得像人类专家那样出色,必须为它提供人类专家所具有的专业知识。

1.2.3 第三阶段——发展和实用化阶段(1971年~1980年)

20世纪70年代人工智能研究者开始利用过去的研究成果,并提出各种新的知识表示技术,搜索技术日趋成熟,人工智能和其他领域诸如医药、电子、地质和化学领域发生了密切的联系,大量的科研成果证实了自然语言理解、计算机视觉和专家系统是可行的,其中最引人注目的是各种专家系统的出现,它已经用于化学、医疗、地质、气象、教学、科学研究和军事等方面,大大提高了工作效率和工作质量。下面我们将向读者介绍几个具有代表性的专家系统和其他应用系统。

1965年斯坦福大学计算机科学系的人工智能鼻祖费根鲍姆教授研究了以往人工智能系统成功和失败的教训,发现人类专家之所以成为专家,其主要原因在于他们拥有大量的专业知识,特别是那些他们长期实践摸索出来的、鲜为人知的经验性知识。基于这种思想,他和化学家C. Djerassi以及J. Leberberg等人研制出世界上第一个专家系统DENRAL,该系统是根据分子式及其质谱数据帮助化学家推断分子结构的计算机程序,系统中具有非常丰富的高质量