



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



电子信息与电气学科规划教材

人工智能及其应用

李国勇 李维民 编著



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY <http://www.phei.com.cn>



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
电子信息与电气学科规划教材

人工智能及其应用

李国勇 李维民 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书系统地阐述人工智能的基本原理、方法和应用技术,比较全面地反映了国内外人工智能研究领域的最新进展和发展方向。全书共分为11章,首先简要介绍人工智能的发展历史及概况;然后重点介绍了人工智能的知识表示方法,搜索技术和知识推理;最后详细介绍了人工智能的主要应用以及一些应用实例。内容由浅入深、循序渐进,条理清晰,各章均有大量的例题,便于读者掌握和巩固所学知识,让学生在有限的时间内,掌握人工智能的基本原理与应用技术,提高对人工智能问题的求解能力。

本书可作为高等院校计算机类和电气信息类专业本科生和研究生教材,也可作为从事人工智能研究与应用的教学、研究、设计和工程技术人员的参考用书。

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,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

人工智能及其应用/李国勇,李维民编著. -北京:电子工业出版社,2009.1

(电子信息与电气学科规划教材)

ISBN 978-7-121-07955-9

I. 人… II. ①李… ②李… 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(2008)第194778号

责任编辑:韩同平 特约编辑:李佩乾

印 刷: 北京牛山世兴印刷厂
装 订:

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

开 本:787×1092 1/16 印张:23.75 字数:608千字

印 次:2009年1月第1次印刷

印 数:4000册 定价:36.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

人工智能是计算机科学与应用中的一个传统分支，涵盖众多的领域。人工智能技术被广泛运用于许多方面。人工智能涉及的内容广泛，而且一直在不断地发展，随时都在产生新的方法和理论。

本书的编写参考了国家学位委员会对工科学科各层次学历人员关于“人工智能教学大纲”的基本要求，内容较全面地反映了人工智能学科整体结构及其研究进展状况。凝聚了作者多年讲授人工智能原理的教学实践与科学研究成果，注重理论与实践的结合，从人工智能的基本概念和发展过程出发，着重阐述了人工智能的原理、技术及其应用方法。

本书作为人工智能入门性的教材，主要介绍人工智能研究中最基本的、最经典的理论和方法。全书共分为11章，第1章简要介绍了人工智能的发展历史、研究途径和方法、研究领域。第2章为知识及其表示方法，包括状态空间表示法，与或图表示法，一阶谓词逻辑表示法，产生式表示法，语义网络表示法，框架表示法，脚本表示法，面向对象的表示法，过程表示法，Petri网表示法。第3章为搜索技术，包括盲目搜索和启发式搜索等；与或图搜索，包括AO*算法和博弈树搜索等。第4章为知识推理，包括归结演绎推理，归结控制策略，基于规则的演绎推理以及非归结演绎推理。第5章为高级搜索，包括禁忌搜索算法，模拟退火算法，人工神经网络，遗传算法，进化策略，进化编程，遗传编程，人工生命，粒子群优化算法，免疫计算等。第6章为高级知识表示与知识推理，包括模糊逻辑，多值逻辑，模态逻辑，非单调逻辑，不确定推理，时间推理，空间推理，定性推理和描述逻辑等。第7章为Agent及Multi-Agent系统，包括Agent概念，BDI模型，Agent结构，Agent通信，Multi-Agent系统模型与结构，移动Agent，面向Agent的程序设计等。第8章为自然语言理解，包括句法分析，语义分析，自然语言理解系统应用举例，机器翻译，语音识别，信息检索等内容。第9章为机器学习，包括机器学习的分类，实例学习，类比学习，解释学习，强化学习，决策树学习等。第10章为规划系统，包括早期的自动规划技术（GPS，Green和STRIPS），图规划，分层规划，部分排序规划技术等。第11章为人工智能应用，介绍应用人工智能技术的一些实例，主要采用MATLAB实现。本书每章后面都附有练习题。

本教材适用学时数为32~64（2~4学分），章节编排具有相对的独立性，使教师与学生便于取舍，便于不同层次院校的不同专业选用，以适应不同教学学时数的需要。教材内容完善、新颖，有利于学生能力的培养。其中：32学时，可讲授第1章，第2章的2.1~2.7节，第3章的3.1~3.3节，第4章的4.1、4.2节，第6章的6.1节；第7章的7.1~7.5节；第8章的8.1~8.4节；第9章的9.1、9.2节和第10章的10.1~10.3节。64学时，可讲授第1，2，3，4，5，7，8章，以及6.1~6.5，9.1~9.4，10.1~10.6节。此外，根据教学目标不同，教师也可以适当取舍。

本书由李国勇和李维民编著，全书由李国勇整理定稿。太原理工大学博士生导师彭新光教授主审了全书，并提出了许多宝贵的意见和建议，在此深表谢意。

本书在写作过程中，参考了大量的国内外文献资料，在此一并感谢。

由于作者水平有限，书中难免有遗漏与不当之处，欢迎读者批评指正。

编著者

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 人工智能的基本概念	(1)
1.1.1 人工智能的哲学思考	(1)
1.1.2 人工智能的定义	(2)
1.1.3 人工智能的研究目标	(2)
1.2 人工智能的发展简史	(3)
1.3 人工智能的研究途径和方法	(7)
1.4 人工智能的研究与应用领域	(9)
1.5 人工智能相关网站介绍	(14)
小结	(15)
练习题	(15)
第2章 知识表示	(17)
2.1 基本概念	(17)
2.1.1 知识的概念	(17)
2.1.2 知识的表示方法	(19)
2.2 状态空间表示法	(20)
2.3 与/或图表示法	(23)
2.3.1 问题归约	(23)
2.3.2 与/或图的表示	(23)
2.4 一阶谓词逻辑表示法	(27)
2.4.1 命题逻辑	(27)
2.4.2 一阶谓词逻辑	(30)
2.4.3 一阶谓词逻辑表示方法	(32)
2.4.4 一阶谓词逻辑表示法的特点	(35)
2.5 产生式表示法	(35)
2.5.1 产生式的基本形式	(35)
2.5.2 产生式系统的组成	(36)
2.5.3 产生式系统的推理方式和控制策略	(37)
2.5.4 产生式表示法的特点	(39)
2.6 语义网络表示法	(39)
2.6.1 语义网络的概念和结构	(40)
2.6.2 语义网络表示知识的方法	(40)
2.6.3 语义网络的问题求解过程	(44)

2.6.4 语义网络表示法的特点	(45)
2.7 框架表示法	(45)
2.7.1 框架的基本结构	(46)
2.7.2 框架系统中的预定义槽名	(47)
2.7.3 框架网络	(48)
2.7.4 框架系统的问题求解过程	(49)
2.7.5 框架表示法的特点	(49)
2.8 其他表示方法	(50)
2.8.1 脚本表示法	(50)
2.8.2 面向对象的表示法	(51)
2.8.3 过程表示法	(55)
2.8.4 Petri 网表示法	(57)
小结	(58)
练习题	(58)
第3章 搜索技术	(60)
3.1 搜索的概念	(60)
3.1.1 基本概念	(60)
3.1.2 搜索的分类	(61)
3.2 状态空间搜索	(62)
3.2.1 状态空间搜索的一般过程	(62)
3.2.2 盲目搜索策略	(64)
3.2.3 启发式搜索策略	(68)
3.3 与/或图搜索	(77)
3.3.1 与/或图搜索的一般过程	(77)
3.3.2 与/或图的盲目搜索策略	(78)
3.3.3 与/或图的启发式搜索策略	(78)
3.3.4 博弈问题的启发式搜索策略	(84)
3.4 通用问题的求解方法	(89)
3.4.1 生成-测试法	(89)
3.4.2 手段-目标分析法	(89)
3.4.3 约束满足问题	(90)
小结	(93)
练习题	(94)
第4章 知识推理	(96)
4.1 推理的概念	(96)
4.2 归结演绎推理	(97)
4.2.1 Herbrand 理论	(97)
4.2.2 归结原理	(101)
4.2.3 归结反演	(105)

4.3	非归结演绎推理	(113)
4.3.1	基于规则的演绎推理	(113)
4.3.2	Bledsoe 自然演绎法	(119)
4.3.3	Boyer-Moore 定理证明方法	(121)
4.3.4	王浩算法	(124)
4.4	不确定性推理方法	(125)
4.4.1	不确定性推理的基本问题	(125)
4.4.2	确定性理论	(127)
4.4.3	主观贝叶斯方法	(131)
4.4.4	证据理论	(134)
	小结	(139)
	练习题	(139)
第5章	高级搜索	(141)
5.1	最优化问题	(141)
5.1.1	最优化问题的概念	(141)
5.1.2	最优化问题的求解	(143)
5.2	禁忌搜索	(145)
5.2.1	禁忌搜索的基本思想	(145)
5.2.2	禁忌搜索的算法流程	(147)
5.2.3	禁忌搜索算法的收敛性	(148)
5.2.4	禁忌搜索的特点	(148)
5.3	遗传算法	(148)
5.3.1	遗传算法的基本思想	(148)
5.3.2	遗传算法的实现步骤	(150)
5.3.3	模式定理	(152)
5.3.4	遗传算法的特点	(153)
5.4	模拟退火算法	(153)
5.4.1	模拟退火算法的基本思想	(153)
5.4.2	模拟退火算法实现步骤	(155)
5.4.3	模拟退火算法特点	(156)
5.5	人工神经网络	(156)
5.5.1	人工神经网络的基本概念	(156)
5.5.2	感知机	(159)
5.5.3	BP 神经网络	(160)
5.5.4	Hopfield 网络	(163)
5.6	其他高级搜索算法	(166)
5.6.1	进化策略	(166)
5.6.2	进化编程	(169)
5.6.3	遗传编程	(171)
5.6.4	人工生命	(174)

5.6.5 蚁群优化算法	(176)
5.6.6 粒子群优化算法	(177)
5.6.7 免疫计算	(178)
小结	(179)
练习题	(179)
第6章 高级知识表示和知识推理	(180)
6.1 模糊逻辑	(180)
6.1.1 模糊集合及其运算	(180)
6.1.2 模糊关系及其合成	(183)
6.1.3 模糊向量及其运算	(184)
6.1.4 模糊逻辑规则	(185)
6.1.5 模糊逻辑推理	(186)
6.2 三值逻辑与多值逻辑	(188)
6.2.1 三值逻辑	(188)
6.2.2 多值逻辑	(190)
6.3 模态逻辑	(190)
6.3.1 基本模态逻辑	(190)
6.3.2 时态逻辑	(194)
6.3.3 知道逻辑和信念逻辑	(195)
6.4 非单调逻辑	(202)
6.4.1 默认推理	(202)
6.4.2 限定推理	(203)
6.4.3 自认识逻辑	(206)
6.4.4 真值维持系统	(207)
6.5 不确定性推理	(209)
6.5.1 贝叶斯网络	(209)
6.5.2 关联式方法	(210)
6.5.3 语义描述方法	(211)
6.6 时间推理与空间推理	(212)
6.6.1 基于区间的时间推理	(212)
6.6.2 空间推理	(218)
6.7 定性推理方法	(222)
6.7.1 定性推理概述	(222)
6.7.2 定性方程法	(223)
6.7.3 定性模拟法	(226)
6.7.4 定性进程方法	(227)
6.8 描述逻辑	(229)
6.8.1 描述逻辑的基本概念	(229)
6.8.2 描述逻辑的语言规则	(231)
6.8.3 描述逻辑中的推理	(232)

6.8.4 描述逻辑语言的扩展	(235)
小结	(237)
练习题	(237)
第7章 Agent 及 Multi-Agent	
系统	(238)
7.1 Agent 概述	(238)
7.1.1 分布式人工智能	(238)
7.1.2 Agent 的基本概念	(239)
7.2 Agent 的理论模型	(241)
7.2.1 Agent 的心智要素及其性质	(241)
7.2.2 Agent BDI 模型	(242)
7.2.3 效用理论	(247)
7.3 Agent 的结构	(247)
7.3.1 Agent 的基本结构	(247)
7.3.2 Agent 结构的分类	(248)
7.4 Agent 通信	(250)
7.4.1 言语行为	(250)
7.4.2 通信的类型和方式	(252)
7.4.3 Agent 的通信语言	(254)
7.5 Multi-Agent 系统	(259)
7.5.1 Multi-Agent 系统的模型和结构	(259)
7.5.2 Multi-Agent 系统的协调和协作	(260)
7.5.3 Multi-Agent 协商	(262)
7.5.4 Multi-Agent 规划	(263)
7.6 移动 Agent	(264)
7.6.1 移动 Agent 的基本概念	(264)
7.6.2 移动 Agent 的发展	(267)
7.7 面向 Agent 的程序设计	(268)
7.7.1 AOP 与 OOP 的区别	(268)
7.7.2 AOP 框架	(269)
7.7.3 Agent 系统开发的语言	(270)
小结	(271)
练习题	(271)
第8章 自然语言理解	(272)
8.1 自然语言理解的一般问题	(272)
8.2 句法分析	(276)
8.2.1 文法和语言的形式定义	(276)
8.2.2 乔姆斯基体系	(277)
8.2.3 句法分析的策略	(279)

8.2.4	句法模式匹配和转移网络	(280)
8.2.5	句法分析的确定性算法	(283)
8.2.6	词汇功能语法	(284)
8.2.7	基于统计方法的句法分析方法	(285)
8.3	语义分析	(286)
8.3.1	语义文法	(286)
8.3.2	格文法	(287)
8.4	自然语言理解系统应用举例	(288)
8.4.1	自然语言自动理解系统	(288)
8.4.2	MARGIE 系统	(289)
8.5	机器翻译	(290)
8.5.1	机器翻译基本方法	(291)
8.5.2	基于规则的机器翻译	(292)
8.5.3	基于实例的机器翻译	(293)
8.5.4	基于统计的机器翻译	(294)
8.5.5	机器翻译评价	(295)
8.6	语音识别	(295)
8.7	信息检索	(296)
	小结	(297)
	练习题	(297)
第9章	机器学习	(299)
9.1	概述	(299)
9.2	机器学习的基本结构和主要策略	(301)
9.2.1	机器学习的基本结构	(301)
9.2.2	机器学习的主要策略	(302)
9.3	实例学习	(304)
9.3.1	基本理论	(304)
9.3.2	实例学习的基本策略	(306)
9.3.3	实例学习方法的分类	(307)
9.4	类比学习	(308)
9.5	解释学习	(311)
9.5.1	解释学习的空间描述	(311)
9.5.2	解释学习的一般步骤	(312)
9.5.3	解释与泛化交替进行的学习方法	(313)
9.5.4	基于解释的详细说明法	(315)
9.6	强化学习	(316)
9.6.1	强化学习的关键因素	(317)
9.6.2	寻找最优策略	(319)
9.7	决策树学习	(320)
9.7.1	ID3 算法	(321)

9.7.2 最好属性的选择	(321)
小结	(322)
练习题	(322)
第 10 章 规划系统	(323)
10.1 规划技术基本概念	(323)
10.2 早期的自动规划技术	(326)
10.2.1 GPS	(326)
10.2.2 Green 方法	(327)
10.3 STRIPS 规划	(328)
10.3.1 积木世界的机器人的问题	(328)
10.3.2 STRIPS 规划知识的表示	(329)
10.3.3 STRIPS 规划的搜索过程	(330)
10.4 图规划	(331)
10.5 分层规划	(334)
10.6 部分排序规划技术	(337)
10.7 自动规划技术的新进展	(338)
10.7.1 非经典规划技术的开发	(339)
10.7.2 自动规划技术的实用化	(340)
小结	(342)
练习题	(342)
第 11 章 人工智能应用	(343)
11.1 系统预测	(343)
11.1.1 基本预测方法	(343)
11.1.2 基于人工神经网络的矿产资源预测	(344)
11.2 故障诊断	(346)
11.3 路径规划	(351)
11.3.1 路径规划概述	(351)
11.3.2 基于蚁群算法的旅行商路径搜索	(352)
11.4 信息检索	(356)
11.4.1 传统的 Web 信息检索	(356)
11.4.2 基于移动 Agent 的 Web 信息检索系统	(357)
11.4.3 基于移动 Agent 的 web 检索原型系统开发	(358)
小结	(363)
参考文献	(364)

第 1 章 绪 论

人工智能(AI, Artificial Intelligence)是当前科学技术中的一门前沿学科。作为计算机科学的一个分支,它的研究不仅涉及计算机科学,还涉及脑科学、神经生理学、心理学、语言学、逻辑学、认知科学、行为科学、生命科学和数学,以及信息论、控制论和系统论等许多科学领域。

1.1 人工智能的基本概念

1.1.1 人工智能的哲学思考

1. 怎样才能说机器具有了智能

1950年,英国数学家图灵(A. M. Turing)设计了一个实验,来验证计算机是否具有人的智能,即称为“图灵测验(Turing Testing)”。该实验首先让两个人和一台计算机分别处于三个不同的房间,且互相看不到。其中一个人扮演讯问者,剩余两者分别称为主体A和主体B。实验的目的就是通过讯问者向主体A和主体B讯问来确定哪一个房间的主体是计算机。实验开始时,讯问者并不知道哪一个房间的主体是计算机,三者都通过键盘和屏幕进行交流。讯问者可以提出任何形式的问题,而计算机可以设法隐瞒它的身份。这种测试重复多次,每次用不同的志愿者取代这两个人。如果全部测试之后,正确识别出计算机的次数不明显大于随机猜测50%的次数,则认为这台计算机具有了智能。也就是说,如果一台计算机的表现和反应,以及相互作用,都与有意识的人类个体一样,那么它就应该被认为是有意识的,即具有了智能。

2. “中国屋”思想实验

20世纪80年代,美国哲学家塞尔(J. R. Searle)针对“图灵测验”,提出了“中国屋”的思想实验(Chinese Room Experiment)进行反驳。塞尔想象自己被锁在一个有两个窗口的屋子里,这两个窗口分别是I和O,其中窗口I送入纸张,窗口O送出纸张。送入的纸张上面有很复杂的记号,用于代表一定的意义。在屋子里面有一堆翻译手册,可以查到每个记号所代表的意义,从而能够获知整个纸张所代表的意义;他然后根据其意义,可以做出正确的回答,并把这些回答再翻译成记号;最后通过窗口O把写有这些记号的回答送出,而原来送入的纸张仍留在屋子里。

现在假定这些记号就是中国字。由I窗口进入的是问题,而送到O窗口的则是对这些问题的正确答案。这一情形就像计算机里面的设置,通过一堆操纵于符号的规则(程序)对由输入窗口进入的符号做出反应,并通过输出窗口给出某些符号。那么在通过“图灵测验”情况下,屋子外面说中文的人可能以为他们是在与屋子里一个懂中文的人对话。但实际上屋子里的那个人并不懂中文,只是根据符号的形式(形态)来操纵符号,机械地进行符号转换工作。

根据“中国屋”的思想实验,塞尔认为,即使计算机给出正确的答案,顺利通过了图灵测验,计算机也没有理解它所做的一切,因此也就不能体现出任何智能。这一哲学论证自提出以

来,一直被认为是对人工智能最有力的批评。

3. 人类能造出比自己聪明的机器吗

当前人工智能研究的期望目标是开发出具有人类意识和能力的机器,那么它将具有与人类相似的智能,甚至可能拥有更高的智能。如果机器的智能可以短时间内达到或超过人类,那么意义就非常重大。机器能够达到的智能极限是无法预测的,但有一点可以肯定,那就是机器的智能一定会不同于人类的智能。机器和人一样都是历史进化的产物,而人的发展史是为了满足他的生理和心理需求。原则上,没有人类特性或没有生物特征,没有生死的东西是没有这种需求的。

4. 人工智能就是模拟人类的智能吗

人工智能有时就是模拟人类的智能,但并不总是,或者说,往往不是。一方面,我们可以通过观察人类在解决问题时的方式来对智能有所了解;另一方面,人工智能中的大量成果不是通过研究人或动物的活动,而是通过直接研究需要智能解决的各种问题得到的。人工智能研究者可以自由地采用人类所没有使用的方法和超出人类的计算能力。

1.1.2 人工智能的定义

人工智能这个词看起来似乎一目了然,人制造的智能,但是要给人工智能这个科学名词下一个准确的定义却很困难。

智能是个体有目的的行为、合理的思维以及有效的适应环境的综合性能力。通俗地讲,智能是个体认识客观事物和运用知识解决问题的能力。人类个体的智能是一种综合性能力,具体讲,可以包括感知和认识客观事物、客观世界以及自我的能力;通过学习取得经验和积累知识的能力;理解知识、运用知识及经验分析问题和解决问题的能力;联想、推理、判断和决策的能力;运用语言进行抽象和概括的能力;发现、发明、创造和创新的能力;实时地、迅速地 and 合理地应付复杂环境的能力;预测和洞察事物发展变化的能力等。特别指出智能是相对的、发展的,如果离开特定时间说智能是困难的、没有意义的。

人工智能是相对于人的自然智能而言的,即通过人工的方法和技术,研制智能机器或智能系统来模仿、延伸和扩展人的智能,实现智能行为和“机器思维”活动,解决需要人类专家才能处理的问题。人工智能是人工制品(artifact)中所涉及的智能行为。其中,智能行为包括:感知(perception)、推理(reasoning)、学习(learning)、通信(communicating)和复杂环境下的动作行为(acting)。作为一门学科,人工智能研究智能行为的计算模型,研制具有感知、推理、学习、联想和决策等思维活动的计算系统。从本质上讲,人工智能是研究怎样让计算机模仿人脑从事推理、规划、设计、思考和学习等思维活动,解决需要人类的智能才能处理的复杂问题。简单地讲,人工智能就是由计算机来表示和执行人类的智能活动。

1.1.3 人工智能的研究目标

人工智能是信息描述和信息处理的复杂过程,实现人工智能是一项艰巨的任务。尽管如此,这门学科还是引起了许多科学和技术工作者的浓厚兴趣,特别是在计算机技术飞速发展和计算机应用日益普及的情况下,许多学者认为实现人工智能的手段已经具备,人工智能已经开始走向实践。

人工智能研究的远期目标是建立信息处理的智能理论,制造智能机器。智能机器是指能够在各类环境中自主地或交互地执行各种拟人任务,与人的智力相当或相近的机器。具体地讲,这就要求使计算机能够理解人类语言,并能够进行学习和推理。人工智能研究的近期目标是解决制造智能机器或智能系统相关原理和技术问题,以实现部分智能。

现实生活中有很多人工智能的事例,如洗衣机的模糊控制功能,模仿人的感觉、思维,通过传感器判断衣物重量、布质和状态,决定洗衣粉量、水位和洗涤方式/时间。

1.2 人工智能的发展简史

人工智能学科诞生至今已有近 50 年的历史,这期间人工智能的发展既取得过很多重大的成果,也遭受过巨大的挫折。

1. 第一阶段——孕育期(1956 年以前)

人工智能不仅与对人思维的研究直接相关,而且与许多其他学科领域关系密切。因此说到人工智能的历史,应当上溯到历史上一些伟大的科学家和思想家所做的贡献,他们为人工智能的研究积累了充分的条件和基础理论。

公元前,古希腊哲学家亚里士多德(Aristotle)建立了第一个演绎推理的公理系统,创立了古典形式逻辑。他在其著作《工具论》中,给出了形式逻辑的一些基本规律,如矛盾律、排中律,并且实际上已经提到了同一律和充足理由律,其中的“三段论”至今仍是演绎推理的基本依据。

17 世纪,英国哲学家和自然科学家培根(F. Bacon)系统地提出了古典归纳推理,使之与 Aristotle 的演绎推理成为相辅相成的思维法则。此外,他强调了知识的重要作用,其思想对于研究人类思维过程,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的影响。

17 世纪,德国数学家莱布尼茨(G. W. Leibniz)提出了数理逻辑的基本思想,即把形式逻辑符号化,以此基础建立一种逻辑演算,从而实现对人的思维进行运算和推理。

1642 年,法国物理学家和数学家帕斯卡(B. Pascal)发明了世界上第一台会演算的机械加法机。Leibniz 于 1673 年在这台加法机的基础上发展并制成了可进行四则运算的计算器。

1832 年,英国数学家巴比奇(C. Babbage)制成可用来计算简单数学表的差分机,并提出分析机(能自动完成各种类型数字计算)的设计思想。

19 世纪中叶,英国数学家布尔(G. Boole)初步实现了 Leibniz 的数理逻辑思想。他提出了一种崭新的代数系统——布尔代数,用符号语言描述了思维活动的基本推理法则,从而建立并发展了命题逻辑。

1879 年,德国逻辑学家弗雷格(G. Frege)提出用机械推理的符号表示系统,发明了谓词逻辑。

1930 年,奥地利数学家哥德尔(K. Godel)证明了一阶谓词的完备性定理。1931 年,他又证明了两条不完备性定理:第一条是,任何包含初等数论的形式系统,如果它是无矛盾的,那么一定是不完备的;第二条是,如果某个形式系统是无矛盾的,那么这种无矛盾性一定不能在本系统中得到证明。其研究成果的意义在于提出了人的思维形式化和机械化的某些极限,在理论上证明了有些事情是做不到的,即形式逻辑分析不能用来解决认识中所有出现的矛盾。

1936年,英国数学家 Turing 提出了一种理想计算机的数学模型(图灵机),这为电子计算机的构建提供了理论根据。在1950年,他还提出了著名的“图灵测验”,给智能的标准提供了明确的定义。

1943年,美国神经生理学家麦卡洛(W. McCulloch)和数理逻辑学家匹茨(W. Pitts)提出了第一个神经元的数学模型(M-P模型),开创了神经科学研究的新时代。

1945年,美籍匈牙利数学家冯·诺伊曼(J. V. Neumann)提出了以二进制和程序存储控制为核心的通用电子数字计算机体系结构原理,奠定了现代电子计算机体系结构的基础。

1946年,美国数学家莫克利(J. W. Mauchly)和埃克特(J. P. Eckert)研制成功了世界上第一台通用电子数字计算机 ENIAC(Electronic Numerical Integrator And Calculator)。

1949年,加拿大心理学家赫布(D. O. Hebb)提出了关于神经元连接强度的 Hebb 规则,即当相互连接的两个神经元都处于兴奋状态时,它们的连接强度将增强。Hebb 学习规则为人工神经网络学习算法的研究奠定了基础。

2. 第二阶段——人工智能基础技术的研究和形成(1956—1970年)

1956年夏,美国的达特茅斯(Dartmouth)大学的麦卡锡(J. McCarthy)、哈佛大学的明斯基(M. Minsky)、IBM公司的罗彻斯特(N. Lochester)和贝尔实验室的香农(E. Shannon)四人共同发起,邀请IBM公司的摩尔(T. More)和塞缪尔(A. Samuel)、麻省理工学院的塞弗里奇(O. Selfridge)和门罗索夫(R. Solomonoff)、卡内基-梅隆大学的西蒙(H. Simon)和纽厄尔(A. Newell)等人参加学术讨论班,在一起共同学习和探讨用机器模拟智能的各种问题。Minsky 构建的第一个神经网络模拟器 SNARC(Stochastic Neural - Analog Reinforcement Computer)、McCarthy 的 α - β 搜索法,以及 Simon 和 Newell 的逻辑理论家程序(Logic Theorist)成为在这次研讨会上的三个亮点。经 McCarthy 提议,决定使用“人工智能”一词来概括这个研究方向。这次具有历史意义的会议标志着人工智能这个学科的正式诞生,McCarthy 也由此被称为“人工智能之父”。

1956年,Newell 和 Simon 等人编写的程序 Logic Theorist 证明了罗素(B. Russell)和怀特海(A. N. Whitehead)的数学名著《数学原理》中第二章的三十八条定理,又于1963年证明了该章中的全部五十二条定理。他们的成果使人工智能研究走上以计算机程序来模拟人类思维的道路,第一次把求解方法和问题的领域知识分离开。在相同的研究途径下,Selfridge 编制了字符识别程序, Samuel 研制了跳棋程序。Samuel 的跳棋程序具有学习功能,在1959和1962年分别打败了 Samuel 本人和美国一个州的跳棋冠军。

1957年,Simon、Newell 和肖(J. C. Shaw)合作开发了表处理语言 IPL(Information Processing Language),这是历史上第一个人工智能程序设计语言。该程序设计语言的基本元素是符号,并首次引入了表处理方法。同年,罗森勃拉特(F. Rosenblatt)提出著名的感知机(Perceptron)模型,试图模拟人脑感知能力和学习能力。该模型是第一个完整的人工神经网络,也是第一次将人工神经网络研究付诸于工程实现。

1958年,美籍逻辑学家王浩在自动定理证明中取得重要的进展。他的程序在 IBM-704 计算机上用不到5分钟的时间证明了《数学原理》中“命题演算”的全部220条定理。1959年,王浩的改进程序用8.4分钟证明了上述220条定理及谓词演算的绝大部分定理。在这一年, Minsky 和 McCarthy 在麻省理工学院创建世界上第一个人工智能实验室。

1959年, McCarthy 开发出了著名表处理语言 LISP(List Processor)。LISP 语言是函数式符

号处理语言,其程序由一些函数子程序组成。LISP 语言自发明以来广泛用于数学中符号微积分计算、定理证明、谓词演算、博弈论等领域。同年,IBM 公司的格伦特(H. Gelernter)研制出平面几何证明程序。

1960 年,Simon、Newell 和 Shaw 又一次合作开发了通用问题求解系统 GPS (General Problem Solver)。GPS 是根据人在解题中的共同思维规律编制而成的,可解 11 种不同类型的问题,从而使启发式程序有了更普遍的意义。

1962 年,美国工程师威德罗(B. Windrow)和霍夫(E. Hoff)提出了自适应线性单元 ADALINE(Adaptive linear element)。它可用于自适应滤波、预测和模式识别,从而掀起了神经网络研究的第一次高潮。

1965 年,罗伯特(L. G. Roberts)编制了可以分辨积木构造的程序,开创了计算机视觉的新领域。同年,美国数理逻辑学家鲁宾逊(J. A. Robinson)提出了与传统演绎法完全不同的消解法(也称归结原理),掀起了研究计算机定理证明的又一高潮。

1968 年,美国斯坦福大学教授费根鲍姆(E. Feigenbaum)主持开发出世界上第一个化学分析专家系统 DENDRAL,开创了以知识为基础的专家咨询系统研究领域。同年,奎廉(J. R. Quillian)提出了语义网络的知识表示方法,试图解决记忆的心理模型,后来 Simon 等人将语义网络应用于自然语言理解方面取得了很大的成效。

1969 年,Minsky 出版了《感知机》一书,该书对感知机进行了深入分析,并且从数学上证明了这种简单人工神经网络功能的局限性,即感知机只能解决一阶谓词逻辑问题,不能解决高阶谓词问题。同时,还发现有许多模式是不能用单层网络训练的,而多层网络是否可行还值得怀疑。因此,神经网络的研究由此进入低潮时期,而专家系统的研究进入高潮。

3. 第三阶段——发展和实用化阶段(1971—1980 年)

人工智能开始从理论走向实践,解决了一些实际问题,同时也很快就发现了一些问题,如消解法费时、下棋赢不了全国冠军、机器翻译一团糟等。此时,以 Feigenbaum 为首的一批年轻科学家改变了人工智能研究的战略思想,开展了以知识为基础的专家咨询系统的研究与应用。

在 20 世纪 70 年代有不少专家系统被研制开发,如麻省理工学院研制的符号数学专家系统 MACSYMA 和自然语言理解系统 SHRDLU,诊断和治疗青光眼的专家系统 CASNET,诊断内科疾病的专家系统 INTERNIST,肾脏病专家咨询系统 PIP,DEC 公司开发的诊断系统 VAX,卡内基-梅隆大学开发的计算机配置专家系统 XCON(RI)和 XSEL。

1972 年,肖特利夫(E. H. Shortliffe)等人开发了医学诊断专家系统 MYCIN,该系统使用了产生式系统的概念框架,并以实现方法简单、有效而著称。同年,吴兹(W. Woods)研制成功了自然语言理解系统 LUNAR,该系统用于查询月球地质数据,回答用户的问题,是第一个用英语与机器对话的人机接口系统。

1973 年,法国马赛大学教授考尔麦劳厄(A. Colmerauer)的研究小组实现了英国伦敦大学学生柯瓦连斯基(R. Kowalski)提出的逻辑式程序设计语言 PROLOG(Programming in Logic)。

1974 年,沃博斯(P. J. Werbos)在其博士论文中提出在感知机的基础上加入隐含层的学习算法,有效解决了多层网络中隐含节点的学习问题。

1975 年,Minsky 创立了框架理论(Frame Theory),该理论的核心是以框架的形式来表示知识。同年,美国密执根大学教授霍兰德(J. H. Holland)提出了遗传算法(GA, Genetic Algorithm),该算法用于处理多变量、非线性、不确定,甚至混沌的大搜索空间的有约束的优化问题。