



普通高等教育规划教材

人工智能及其应用

李长河 主编

RENGONG ZHINENG JIQI YINGYONG



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

TP18
132

普通高等教育规划教材

人工智能及其应用

主 编 李长河

参 编 王 磊

杨君锐

李 芳



机械工业出版社

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“人工智能考试大纲”基本要求，结合作者多年讲授人工智能原理的实践，内容较全面地反映了人工智能学科整体结构和国内外新的研究进展，使本书具备了新颖性和实用性的特点，能适用于本科生和研究生不同层次教学与工程应用需要。

全书内容共分 12 章，覆盖了人工智能基础理论和高级人工智能两大部分。

基础理论部分：包括第 1~7 章，内容包括人工智能及其发展、人工智能逻辑、知识在机器中的表示及其模型描述方法、确定性逻辑推理、不确定性推理、启发式搜索和博弈对策及其 α - β 剪枝、专家系统。

高级人工智能部分：包括第 8~12 章，主要内容有数据挖掘与知识发现、人工神经网络及其神经计算、分布式人工智能与多 Agent 系统、进化计算及其遗传算法原理、人工生命和群体智能等，并结合具体内容探讨了多种计算智能方法与应用。

本书可依据各高校对有关专业本科生与研究生培养方向与目标的侧重要求，根据各校课时安排以及“少而精”的原则，可灵活选用课程中不同内容，以实现课堂教学与课外系统阅读了解的需要。

图书在版编目 (CIP) 数据

人工智能及其应用/李长河主编. —北京: 机械工业出版社, 2006.8

普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-19670-8

I. 人... II. 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 (2006) 第 085151 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王小东

封面设计: 张 静 责任印制: 杨 曦

北京蓝海印刷有限公司印刷

2006 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 21.75 印张 · 535 千字

定价: 30.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

编辑热线: (010) 88379727

封面无防伪标均为盗版

前 言

人工智能是关于构建机器智能的科学，首先在于如何模拟、延伸和扩展人类的智能，因而从其诞生起，就成为了人们关注的焦点，并始终处于科学研究的前沿。

人工智能诞生五十余年来，其发展过程如同一个伟大人物成长那样，充满了神奇，有高潮也有低谷。人工智能的发展和研究，涉及计算机科学、信息论、控制论、心理学、生理学、数学、物理学、化学、生物学、医学、哲学、语言学、社会学、认知科学等众多领域，因此，它既是一门新思想、新理论、新技术、新成就不断涌现的新兴学科，又是一门综合性极强的边缘学科。

21 世纪是智能科学、生命科学突飞猛进及其信息集成并融合应用的年代。随着新纪元时期的信息化、计算机网络和 Internet 技术的发展，人类已快步迈入信息化社会和网络经济的时代，也为人工智能提出了更多具体的研究课题，从而开创了更多的发展机遇。作为信息社会和网络经济时代的核心科学技术之一，人工智能科学必将在 21 世纪大放异彩，为推进我国和全球信息化发挥更大的作用。

本教材是在我们多年为计算机学科本科生和相关专业的研究生讲授人工智能原理课程实践基础上编写的。由于人工智能研究涉及众多学科，同时它自身仍处于不断发展中，新的研究成果不断丰富着它的内容，也为其应用不断地提出了新的研究课题，使得人工智能教学难以形成完整和成熟的体系，也为人工智能的教学选材带来了一定的难度。本教材的编写参考了国家学位委员会颁布的关于工科学科相关学历人员要求的“人工智能考试大纲”的要求，既强调基本原理和工程应用，又要全面反映人工智能学科的整体结构和国内外研究进展，同时还力求具备新颖性和实用性的特点。

为了适应本科生和研究生不同层次教学与实际工程应用需要，全书内容共分为 12 章，内容覆盖了人工智能基础理论和高级人工智能两个部分。

基础理论部分包括第 1~7 章，内容包括人工智能及其发展、人工智能逻辑、知识在机器中的表示模型及其描述方法、确定性逻辑推理、不确定性推理、启发式搜索和博弈对策及其 α - β 剪枝、专家系统 (ES)。

高级人工智能部分为第 8~12 章，主要内容为：数据挖掘与知识发现 (KDD)，人工神经网络 (ANN)，分布式人工智能及其多 Agent 系统，进化计算及其遗传算法，人工生命 (AL) 等，并结合具体内容探讨了多种计算智能方法及其一些应用。

为了保持人工智能课程内容的系统性和完整性，本教材依据高校有关专业本科生与研究生培养目标与方向有所侧重，根据各校人工智能课时安排和“少而精”的原则，可分别选用课程中不同的内容实现人工智能课程教学目的，而其余内容又可作为系统补充或深入研究的参考。这种编写安排是一种新的尝试，本意希望使用该教材的读者能够得心应手应用并发挥其作用。

参加本书编写工作的有西安理工大学、西北农林科技大学、西安科技大学、天津外国语学院以及河南师范大学等高校的教授和副教授、专家、教学第一线的讲师和研究生们。

其中,第9章人工神经网络,由王磊执笔完成;第7章专家系统,第8章机器学习与知识发现,由杨君锐主笔;其余各章由李长河组织编写并最终完成全书统稿。参加书中若干部分章节内容编写、教学实践和实验编排等工作的有:李芳、李书琴、王维花、李松涛、胡元义、邓亚铃、李涛、唐志坚、王学通、甘文丽、范云芝、段德全等。

本教材包含了作者多年的教学、科研实践和体会,也吸取了国内外同类教材和有关文献的精华,他们的作品或研究成果为我们完成本书提供了丰富营养,使我们受益匪浅。我们在本书中引用了他们的部分材料,使本书能够取各家之长,较全面地反映人工智能相关研究领域的新进展。在此谨向这些教材和文献的作者表示感谢,也向为我们提供宝贵经验和建议的同行们、老师和同学们表示感谢。

感谢西安理工大学教学委员会教授和专家对本教材工作给予的评审支持和指导,感谢西北农林科技大学信息工程学院何东健、李书琴、韩宏等教授和专家们给予本教材的编写、教学实践等工作给予的积极指导与关怀。

借此机会,深深地感谢指引我步入科学殿堂的导师宣国荣教授和柴佩琪教授,感谢西安交通大学的恩师们对我曾有的无私教诲和栽培。

由于作者水平有限,书中难免会出现错误,加之人工智能研究领域纵深宽广,在内容取舍、编排以及前后连贯性方面,难免有种种考虑不周之处,诚请广大读者批评指正。

李长河

2006年5月于西安

目 录

前言

第 1 章 人工智能及其发展	1
1.1 人工智能的诞生、意义与目标	1
1.2 人类智能和人工智能	1
1.2.1 什么是智能	1
1.2.2 什么是人工智能	3
1.3 人工智能的发展与思考	4
1.4 人工智能主要学派及其 研究方法	5
1.4.1 人工智能主要学派	5
1.4.2 功能派及其研究方法	6
1.4.3 网络互连 (Network Connection) 的技术研究方法	7
1.4.4 行为派的研究方法	8
1.5 人工智能系统及其层次结构	9
1.5.1 智能信息论	9
1.5.2 广义智能论	10
1.5.3 智能系统论	10
1.6 人工智能的研究核心与基本技术	11
1.6.1 AI 的研究核心	11
1.6.2 AI 体系及其基本技术	11
1.6.3 人工智能研究的基本内容	11
1.7 人工智能应用领域及其分支学科	12
1.7.1 专家系统	12
1.7.2 自然语言处理与理解	13
1.7.3 机器感知、机器视觉和 模式识别	13
1.7.4 智能机器人	14
1.7.5 机器自动定理证明	14
1.7.6 智能软件工程	14
1.7.7 智能决策支持系统	15
1.7.8 分布式人工智能与 多 Agent 系统	15

1.7.9 神经网络	15
1.7.10 现代智能通信	16
1.7.11 脑科学、认知科学与人工 智能的发展	16
1.8 人工智能在新世纪的发展展望	17
思考与练习	18
第 2 章 人工智能逻辑	20
2.1 命题逻辑与谓词逻辑	20
2.1.1 命题逻辑	20
2.1.2 命题和谓词逻辑基础	22
2.2 谓词公式——谓词逻辑表达式	23
2.2.1 谓词公式概念	23
2.2.2 谓词公式的解释	24
2.2.3 谓词公式的永真性判定	25
2.3* 谓词逻辑的演算律	25
2.3.1 谓词逻辑等价律	25
2.3.2 谓词逻辑蕴涵律	27
2.3.3 几条重要的推理规则	27
2.4 “非二值”逻辑	27
2.4.1 多值逻辑的演算	28
2.4.2 三值逻辑及其布可阀 (Bochvar) 逻辑	29
2.4.3 一种非确定性逻辑——概率	30
2.5 模糊逻辑	32
2.5.1 模糊逻辑思想与特性	32
2.5.2 模糊集合 (Fuzzy Sets)	32
2.5.3 模糊集的运算	34
2.5.4 λ 水平截集、支集、 核及模糊单点	35
2.5.5 模糊关系、模糊度与模糊数	36
2.5.6 模糊关系的合成及其语言变量	39
思考与练习	40

第3章 知识与知识表示	42	第4章 确定性逻辑推理	74
3.1 知识表示概述.....	42	4.1 推理的基本概念.....	74
3.1.1 什么是知识.....	42	4.1.1 什么是人工智能推理.....	74
3.1.2 知识的特性.....	43	4.1.2 什么是推理.....	74
3.1.3 知识的分类及其知识映射原理.....	44	4.1.3 推理的方式与类别.....	74
3.2 谓词逻辑的知识表示.....	45	4.2 推理控制策略.....	76
3.2.1 用谓词逻辑和公式表达 各种意境.....	45	4.2.1 推理方向控制策略.....	77
3.2.2 用谓词逻辑表示知识单元.....	46	4.2.2 模式匹配与冲突消解策略.....	79
3.2.3 用谓词逻辑描述智能行为过程 的求解.....	47	4.3 自然演绎推理.....	80
3.2.4 用谓词逻辑知识表示特性.....	48	4.4 消解反演推理系统.....	82
3.3 产生式知识表示与求解.....	48	4.4.1 子句与子句集合.....	82
3.3.1 产生式的知识表示.....	49	4.4.2 Herbrand 理论.....	84
3.3.2 产生式系统求解及其控制策略.....	51	4.4.3 Robinson 消解原理.....	86
3.3.3 产生式知识表示的应用特点.....	54	4.5 置换与合一运算.....	91
3.4 语义网络表示法.....	55	4.5.1 置换.....	91
3.4.1 语义网络知识表示.....	55	4.5.2 合一运算.....	91
3.4.2 语义网络表示及其求解 系统特性.....	57	4.5.3 置换与合一运算举例.....	93
3.5 框架知识表示法.....	59	4.6 基于规则的演绎推理.....	95
3.5.1 框架知识表示.....	59	4.6.1 基于规则的正向演绎推理.....	95
3.5.2 框架知识表示的结构.....	60	4.6.2 基于规则的逆向演绎推理过程.....	98
3.5.3 使用框架的推理.....	62	4.6.3 规则双向演绎推理.....	100
3.6 过程知识表示法.....	64	思考与练习.....	100
3.6.1 什么是过程知识表示法.....	64	第5章 不确定性推理	103
3.6.2 使用过程表示法求解 九宫问题.....	64	5.1 什么是不确定性推理.....	103
3.6.3 过程表示法的特点.....	66	5.1.1 不确定性推理的概念与现象.....	103
*3.7 Petri 网模型表示法.....	67	5.1.2 不确定性的表示与量度.....	104
3.7.1 Petri 网表示知识的方法.....	67	5.1.3 不确定性推理方法与算法.....	105
3.7.2 一个使用 Petri 网建模的实例.....	67	5.2 基于概率的 Bayes 简单推理.....	106
3.7.3 Petri 网表示法的特点.....	69	5.3 主观 Bayes 方法.....	107
*3.8 面向对象的知识表示.....	69	5.3.1 Bayes 方法的不确定性表示 与计算.....	108
3.8.1 基本概念与特性.....	69	5.3.2 Bayes 方法证据情况分析及其 传递计算.....	109
3.8.2 面向对象的知识表示方法.....	70	5.3.3 主观 Bayes 方法的应用特点.....	112
3.8.3 对象模型技术及知识表示特性.....	71	5.4 确定性理论.....	112
思考与练习.....	72	5.4.1 可信度因子及其问题的 不确定性表示.....	112

5.4.2 不确定性的计算	114	6.5.2 全局择优搜索法	150
5.5 模糊推理	116	6.5.3 图的有序搜索及其 A 与 A*算法	153
5.5.1 基于模糊规则的推理及其基本模式	116	6.6 与/或树的启发式搜索	155
5.5.2 基于模糊关系的推理	117	6.6.1 与/或树、搜索树及其解树	155
5.5.3 基于模糊规则与关系相结合的模糊推理	119	6.6.2 与/或树的代价计算及其 计算策略分析	156
5.6 非单调推理	121	6.6.3 与/或树的有序搜索	158
5.6.1 界限理论	122	6.7 博弈对策 (Game of Chess Strategy)	159
5.6.2 缺省理论	122	6.7.1 博弈思想及其博弈树	159
5.6.3 正确性维持系统	123	6.7.2 博弈树的有序搜索策略	160
思考与练习	124	思考与练习	163
第 6 章 搜索策略	128	第 7 章 专家系统	168
6.1 概述	128	7.1 概述	168
6.1.1 什么是搜索	128	7.1.1 什么是专家系统	168
6.1.2 问题的状态空间图搜索	129	7.1.2 专家系统的性能与意义	168
6.1.3 搜索算法及其过程的 完备性概念	130	7.1.3 专家系统的类型	170
6.2 状态空间表示法	130	7.1.4 专家系统的发展概况	172
6.2.1 状态、操作和状态空间	130	7.2 专家系统的结构与工作原理	173
6.2.2 使用状态空间图搜索的 问题求解	131	7.2.1 专家系统的一般结构	173
6.2.3 用状态空间法求解传教士和 食人者问题	132	7.2.2 专家系统的工作原理	175
6.2.4 庞大状态空间的求解分析	134	7.3 专家系统的建造与评价	176
6.3 状态空间的基本搜索策略	137	7.3.1 一般步骤与方法	176
6.3.1 宽度优先搜索	137	7.3.2 知识表示与知识描述	179
6.3.2 深度优先搜索	140	7.3.3 知识库与知识库管理系统	180
6.3.3 有界深度优先搜索	142	7.3.4 推理机与解释机构	181
6.3.4 代价树的推进搜索	143	7.3.5 人机界面设计	182
6.3.5 基本搜索策略的 局限性及其特点	144	7.3.6 专家系统的评价	182
6.4 启发式搜索策略	145	7.4 专家系统的开发工具	183
6.4.1 启发式搜索概念	145	7.4.1 智能程序设计语言	184
6.4.2 估价函数与启发函数	146	7.4.2 专家系统外壳	184
6.4.3 关于估价函数的讨论	146	7.4.3 专家系统开发环境	186
6.5 启发式搜索法	147	7.5 分布式专家系统与协同式 专家系统	186
6.5.1 瞎子爬山法	147	7.5.1 分布式专家系统	187
		7.5.2 协同式专家系统	189
		7.6 专家系统举例	192

7.6.1 系统分析	193	9.3 人工神经元模型	231
7.6.2 系统结构	193	9.4 人工神经网络模型	233
7.6.3 系统实现	195	9.4.1 前馈神经网络及其 BP 算法	233
7.6.4 系统运行示例	196	9.4.2 反馈神经网络模型	238
思考与练习	196	9.5 人工神经网络的应用范例	243
第 8 章 机器学习与知识发现	198	9.5.1 神经网络在汉语两字词 韵律规则学习中的应用	243
8.1 机器获取知识的途径		9.5.2 神经网络理论在黄河宁蒙河 段冰情预报中的应用	245
——机器学习	198	9.6 人工神经网络的发展前景	247
8.1.1 什么是机器学习	198	思考与练习	248
8.1.2 知识获取概念与方法	198	第 10 章 分布式人工智能	249
8.1.3 机器学习的主要研究内容	199	10.1 分布式人工智能系统	249
8.1.4 机器学习的主要策略	200	10.1.1 什么是分布式人工智能	249
8.1.5 机器学习系统的原理、 结构和功能	200	10.1.2 分布式人工智能系统的特点	250
8.1.6 机器学习分类	202	10.2 分布式问题求解	250
8.2 从实验数据中通过归纳发现知识	202	10.2.1 DPS 系统的协同方式	250
8.2.1 归纳学习的概述	202	10.2.2 DPS 系统的分类与组织	251
8.2.2 归纳学习方法	203	10.3 Agent 技术概述	251
8.2.3 基于决策树的归纳学习	206	10.3.1 Agent 概念、BDI 模型与 特性	252
8.2.4 CLS 学习算法	206	10.3.2 Agent 的结构及分类	254
8.3 类比学习	207	10.3.3 Agent 的应用	259
8.3.1 类比学习概述	207	10.4 多 Agent 系统的理论、技术及 应用	262
8.3.2 类比学习的过程	208	10.4.1 多 Agent 系统概述	262
8.3.3 转换类比学习系统	209	10.4.2 多 Agent 的通信系统概述	264
8.4 数据挖掘和知识发现方法	211	10.4.3 多 Agent 的通信语言	267
8.4.1 数据挖掘与知识发现的关系	212	10.4.4 多 Agent 系统构造技术的 研究	268
8.4.2 数据挖掘	213	10.4.5 多 Agent 系统的建模策略与 实现	271
8.4.3 知识发现	216	10.4.6 多 Agent 的基本技术	273
8.5 粗糙集和数据挖掘开发		10.5 移动 Agent 技术	273
工具简介	220	10.5.1 什么是移动 Agent	273
8.5.1 粗糙集	220	10.5.2 移动 Agent 的发展	274
8.5.2 数据挖掘 (DM) 开发		10.5.3 移动 Agent 及其关键技术	278
工具简介	224	10.5.4 移动 Agent 的安全性	281
思考与练习	227		
第 9 章 人工神经网络	228		
9.1 人工神经网络产生的背景	228		
9.2 人工神经网络的发展	228		

10.5.5 基于移动 Agent 的分布式 计算模型.....	282	12.1.4 人工生命与人工智能.....	315
10.5.6 移动 Agent 及其应用.....	283	12.1.5 人工生命与自然生命特征.....	315
思考与练习.....	285	12.1.6 人工生命的构造途径.....	316
第 11 章 进化计算.....	286	12.2 人工生命研究方法和策略.....	316
11.1 关于遗传算法.....	286	12.2.1 研究人工生命的目的.....	316
11.1.1 什么是遗传算法.....	286	12.2.2 人工生命研究方法.....	317
11.1.2 各种寻优算法及其健壮性的 比较与分析.....	287	12.2.3 人工生命研究策略.....	318
11.1.3 遗传算法的鲁棒性.....	287	12.3 人工生命理论与技术.....	319
11.2 基本遗传算法的工作原理.....	288	12.3.1 细胞自动机理论.....	319
11.2.1 遗传算法的基本思想及 其实现过程.....	288	12.3.2 人工生命的形态形 成理论.....	321
11.2.2 遗传算法的基本操作.....	289	12.3.3 遗传算法.....	323
11.3 遗传算法的图式理论.....	293	12.3.4 混沌理论.....	325
11.3.1 遗传算法的图式结构.....	293	12.3.5 对策论.....	326
11.3.2 遗传算法操作对图式的影响.....	295	12.3.6 群体智能.....	326
11.4 基本遗传算法的计算技术及 其局限性.....	297	12.4 人工生命的表现形式.....	327
11.4.1 遗传算法的知识表示与 编码设计技术.....	297	12.4.1 计算机病毒.....	327
11.4.2 适应度函数选择与计算技术.....	298	12.4.2 计算机的进程.....	327
11.4.3 遗传算法的全局收敛性和 早期收敛问题.....	299	12.4.3 人工核苷酸.....	328
11.5 高级遗传算法.....	300	12.4.4 人工器官.....	328
11.5.1 选择方法的改进.....	300	12.4.5 虚拟生物.....	329
11.5.2 高级遗传运算方法.....	302	12.4.6 进化机器人.....	329
11.6 进化计算的发展与应用.....	305	12.4.7 自催化网络.....	330
11.6.1 进化计算及其发展.....	305	12.4.8 人工生命个体.....	330
11.6.2 进化计算的应用.....	308	12.4.9 人工生态系统.....	331
思考与练习.....	309	12.4.10 演化算法.....	331
第 12 章 人工生命.....	311	12.5 人工生命发展与展望.....	331
12.1 人工生命及其发展.....	311	12.5.1 生物的模拟进化.....	332
12.1.1 人工生命发展萌芽.....	311	12.5.2 通过虚拟生物研究生命的 机理.....	332
12.1.2 什么是人工生命.....	312	12.5.3 遗传工程.....	332
12.1.3 人工生命研究的轨迹.....	313	12.5.4 计算机动画制作.....	332
		12.5.5 图像处理.....	332
		12.5.6 系统仿真.....	333
		12.5.7 在军事上的应用.....	333
		思考与练习.....	333
		参考文献.....	334

第1章 人工智能及其发展

本章主要介绍人工智能科学诞生 50 年来的成长与发展，并就人工智能的研究目标，主要研究观点、方法和成果作了论述；对一些重要应用领域以及发展未来作了回顾与展望。

1.1 人工智能的诞生、意义与目标

人工智能，英译名为 Artificial Intelligence，简称 AI。

1956 年暑假时刻，麦卡锡 (J.McCarthy)、明斯基 (M.L.Minsky)、商农 (C.E.Shannon) 等一群美国年轻的学者与朋友，相约于达特茅斯 (Dartmouth) 大学聚会。他们由衷而兴奋地提出并讨论了“Artificial Intelligence”这一话题，吹响了向人工智能这一新兴领域进军的号角。从此，一个举世闻名的创举——人工智能科学就这样诞生了。

伴随着计算机及其信息科学的长足发展与进步，人工智能这一新兴研究领域吸引了众多的青年学者前仆后继的艰辛奋斗，迄今已经取得了许多世人瞩目的成就：诸如计算机战胜人类，成为国际象棋世界冠军；具有情绪表现的玩具机器人；具有简单检测与判断操作的智能家用电器；各种具有复杂功能的智能飞行器等。

人们把人工智能同宇航空间技术、原子能技术一起誉为 20 世纪对人类影响最为深远的三大前沿科学技术成就。

与前三次工业革命（动力工业革命、能源工业革命、电子工业革命）目标不同，人工智能宣称的目标不只在于实现人的肢体功能、体力工具的替代与延伸，而更重要的是实现人的大脑功能和智慧能力的替代与延伸。

1.2 人类智能和人工智能

1.2.1 什么是智能

1. 智能概念与表现特性

智能，顾名思义，即包括智慧与能力。一般认为，智能是指自然界中某个个体或群体，在客观活动中，表现出有目的的认识世界并运用知识改造世界的一种综合能力。其中，尤其是人类智能，集中体现了人的聪明才智及其群体协调管理的高级智慧力量，并具有许多美妙的特性，诸如感知、学习、思维、记忆、联想、推理、决策、语言理解、图文表达、艺术欣赏、知识运用、规划创造等。虽然迄今揭示的宇宙变迁与星体运动形成的规律暗示我们：人类尚不一定是宇宙世界中惟一最聪明的高级智慧生物，要揭示高级智能作用本质，将有待于对活体大脑进行更深层次的研究。

2. 对智能不同的认识观点

事实上，智能现象本质是人类尚未探索明白的四大奥秘（宇宙起源、物质形态、生命

活动、智能发生)之一。尽管如此,人类在对脑科学和智能认识的研究中,逐渐形成了许多不同的研究观点。其中,最著名并具代表性的理论有三种,即思维理论、知识阈值理论、“进化”论。

思维理论又称作认知科学,它认为智能的核心是思维,一切智慧及其知识均源于活体大脑的思维。因此,通过研究思维规律与思维方法,有望揭示智能的本质。

知识阈值理论强调知识对智能的重要影响和作用,认为知识集聚到某种满意程度时,将会触发智慧大门的开启。知识阈值理论把智能定义为:智能就是在巨大搜索空间中迅速找到一个满意解的能力。这一理论曾经深刻地影响了人工智能的发展进程:专家系统、知识工程等就是在该理论的影响下而发展起来的。

“进化”论强调智能可以由逐步进化的步骤来实现。这里,所谓的“进化”一词,实际上是借用了一百多年前英国著名科学家达尔文(Z.R.Darwin)提出的“物种进化,适者生存”的进化概念。中国学者涂序彦等人把进化论思想推广到智能科学研究领域,提出了智能可以逐步成长,亦可以逐渐进化的新思想理论。该理论恰巧与美国麻省理工学院(MIT)布鲁克(R.A.Brooks)教授提出的行为论观点有许多异曲同工之妙。布鲁克认为:智能行为可以在“没有表达”和“没有推理”的情况下发生;智能可以在低层次信息境遇(Situated-ness)交互方式下,依感知经验“刺激/响应”模式来浮现(Emergence)出来。例如,生物体的智能行为可以由生物躯体局部感知或感官反应信息直接驱动来实现。由于进化理论和行为论的观点都是最近十来年被提出来的,又与传统看法完全不同,因而引起了人工智能界的广泛关注与兴趣。

3. 智能原理与智能层次结构

以人类智能为例,智能活动与人的神经系统自适应调节工作密切相关。神经系统通过分布在身体各部分感受器获取内、外界环境变化信息,分别经过各个层次级别的神经中枢进行分析综合,发出各种相应处理信号,进行决策或达到智能控制躯体的行为目的。

一般来说,人类智能生理机构由中枢神经系统和周围神经系统两大部分组成,每一部分都有十分复杂的细微结构。人脑是中枢神经系统的主要部分,能够实现诸如学习、思维、知觉等复杂的高级智能。

根据现代脑科学和神经生理学的研究成果,把神经系统生理结构同智能发生的认识层次相联系,人们可以发现一个有趣的事实:智能现象实际可以由分布于全身的神经系统任何部位产生,并且某个部位神经系统发出智能行为的反应速度与智能效能水平呈相反趋势。即低级智能动作反应快,高级智能发出要慢一些。总体来说,可将智能行为特性比照其发生的区域情况进行分析,从而建立起一个具有高、中、低三层结构的智能特性模型:高层智能由大脑皮层来组织启动,主要完成诸如思维、记忆、联想、推理等高级智能活动;中层智能由丘脑来组织实现,负责对神经冲动进行转换、调度和处理,主要完成诸如感知、表达、语言、艺术、知觉等智能;低层智能由小脑、脊髓、周围神经系统来组织,主要完成条件反射、紧急自助、动作反应、感觉传导等智能。同时,允许不同层次智能先后发生,相互协同;每个智能层次还可细分为对应的特性群区域或更小的层次。例如,思维特性可分为感知思维、抽象思维、形象思维、顿悟思维及其灵感思维等;视觉感知视野可分为色觉感、形体感、运动感等神经细胞特性感知区。

依据智能的层次结构分析,比照前述的三种智能认识理论,我们不妨这样设想:思维

理论和知识阈值理论主要对应了高层智能活动；而进化理论分别对应了三个智能层次的发展过程。例如，进化理论可以有下述两种工作选择方式：要么让各个智能层次都竞相参与进化作用，实行优胜劣汰；要么先快速实现低级智能，后演化到中级智能，再推进到高级智能层次。后者描述了一个由低向高、逐级进化的智能协同发展的过程模型。

1.2.2 什么是人工智能

1. 人工智能概念及其学科特性

人工智能，顾名思义，即用人工制造的方法，实现智能机器或在机器上实现智能。从学科的角度去认识，所谓人工智能是一门研究构造智能机器或实现机器智能的学科，是研究模拟、延伸和扩展人类智能的科学。从学科地位和发展水平来看，人工智能是当代科学技术的前沿学科；也是一门新思想、新理论、新技术、新成就不断涌现的新兴学科。人工智能的研究，是在计算机科学、信息论、控制论、心理学、生理学、数学、物理学、化学、生物学、医学、哲学、语言学、社会学等多学科的基础上发展起来的，因此，它又是一门综合性极强的边缘学科。

2. 人工智能测试与图灵实验

计算机或者机器是否具有智能？这个问题很早就引起了人们的关注。

为此，一位现代人工智能科学家，英国天才数学家 A.M.Turing 于 1950 年在论文“Computer Machinery and Intelligence”中提出了著名的“图灵测试”标准：测试的参加者由某一位测试主持人和某两位被测试者组成，其中一位被测试者是人，另一个被测试者则是机器。要求被测试者回答测试主持人的问题时，都尽可能表现自己是“人”而不是“机器”。测试者和被测试者可以对话，但彼此都看不到对方。如果测试主持人无论如何都分辨不出被测试者究竟是人还是机器，则认为该机器具有了人的智能。

尽管也有人对这个测试标准提出了某些疑义，认为图灵测试没有反映思维过程，也没有明确被测试的人自身智力智商水平，图灵实验仅仅只是强调了测试结果的比较等。然而，该测试标准的提出，对人工智能科学的进步与发展所产生的影响是十分深远的。

3. 人工智能的研究目标

从长远来看，人工智能研究的远期目标就是要设计并制造一种智能机器系统。目的在于使该系统能代替人，去完成诸如感知、学习、联想、推理；为了使人类生活得更美好，让机器能够去理解并解决各种复杂困难的问题，代替人去巧妙地完成各种具有思维劳动的任务，成为人类最聪明最忠实的助手和朋友。此外，有人认为：从长远来看，人工智能既然能够设计智能系统，就应该能够充分理解并能解释人类的各种智能现象和行为。

在目前阶段，人工智能研究的近期现实目标就是：要最大限度地发挥计算机的灵巧性，使电脑能模拟人脑，在机器上实现各种智能。例如，让计算机能够看、听、读、说、写；使计算机还能想、学、模仿、执行命令甚至出谋献策及创新等。就是说，当前人工智能应该发展并解决智能模拟的理论和技术的。

事实上，人工智能研究的远期目标与近期目标是相辅相成的。远期目标为近期目标确立了方向，而近期目标的研究亦在为实现远期目标准备着理论和技术的的基本条件。随着人工智能的不断发展与进步，近期目标势将不断地调整 and 改变，最终完全实现远期目标。

1.3 人工智能的发展与思考

这里，篇幅所限，不能一五一十地讲说 AI 的故事，下面仅以思考提纲的形式，对人工智能的历史加以简单地提说。

1. 孕育萌芽期（远古~1955）

人类从猿到人，历经数千年文明史，孕育了人工智能的希望。

2. 开创形成期（1956~1965）

AI 创业，十年奋争，初获成就。

1958 年 Newell 和 Simon 曾预言：

- 1) 不出十年，计算机将要成为世界象棋冠军。
- 2) 不出十年，计算机将要成为发现和证明重要的数字定理。
- 3) 不出十年，计算机将要成为能谱写出具有优秀作曲家水平的乐曲。
- 4) 不出十年，大多数心理学理论将在计算机上形成。

初期创业胜利的欣喜冲昏了头脑，预示着后来巨大挫折和风暴的来临：从此，人工智能历经了数十年大起大落的发展。

3. 低潮发展期（1966~1976）

十年时光很快地过去了，AI 先驱者豪言壮语的预言一条也没有兑现。于是有了十年反思，AI 在批评和反对声浪中获得总结和提高。

事实上，任何新生事物的成长，都不会一帆风顺，人工智能的发展也并不例外。20 世纪 60 年代，由于计算机计算能力的限制，人工智能一时无法在电脑上模仿人脑的思考，加上原来的期望与实际需求的差距过远，使得人工智能研究一时走入了低谷。

随着硬件和软件的发展，计算机的运算能力以指数级增长，同时网络技术蓬勃兴起，确保计算机足以运行一些要求更高的人工智能软件，从而使人工智能研究又出现了新的转机。

4. 新一轮高潮发展期（1977~1988）

挑起专家系统（ES）大旗，AI 又掀起向知识工程大进军。

正当人工智能发展遭受挫折，处于十分困难的紧要关头，斯坦福大学年轻的教授 E.A. Feigenbaum 结合多年的攻关成果，把特定的知识表示与处理加入到人工智能的研究中，借助于 Bacon 的“知识就是力量”的大旗，于 1977 年在第五届国际人工智能大会上公示了专家系统和知识工程的研究成就，从而在世界上掀起了新一轮 AI 研究热潮。因此专家系统成为 AI 第一发展里程碑。

20 世纪 80 年代初，日本政府批准了第五代计算机 KIPS（知识信息处理系统）的十年研究计划，并投入巨资加以支持。这一举动最终虽然没有达到理想目标，但在世界上形成了 AI 发展竞争热潮，有人称之为 AI 发展的第二个里程碑。

20 世纪 80 年代以来，人们从问题求解、逻辑推理与定理证明、自然语言理解、博弈、自动程序设计、专家系统、学习以及机器人学等多个角度展开了研究，并先后建立了一些具有不同程度人工智能的计算机系统。例如，能够求解微分方程，能设计分析集成电路，能合成人自然语言，提供语音识别、手写体识别的多模式接口，控制太空飞行器和水下

机器人的研究等。尤其应用于疾病诊断的专家系统，更加贴近了我们的生活。

5. 高潮迭起发展时期（1989~2000）

人们把人工神经网络（ANN）誉为 AI 发展的第三个里程碑。从此，人工智能发展又进入了计算智能发展时期。

进入 20 世纪 90 年代以后，随着计算机和人工智能科学蓬勃发展与进步，人机博弈游戏引起了人们极大的兴趣，直到 1997 年，IBM 的“深蓝”计算机在棋盘上战胜了世界国际象棋大师卡斯帕罗夫，第一次与人类智能博弈决战中摘取了世界国际象棋的桂冠。

机器学习与计算智能，遗传算法及其进化计算，互联网智能——又称为 Web 智能，尤其机器人技术等，纷纷取得了进步与发展。

20 世纪 90 年代中期以来，日本的 Sony 公司、美国 Tiger 电子公司、美国微软公司等分别推出了各种玩具机器人，更加贴近了人类的生活。例如，日本松下“宠物机器人”可用于帮助独身老人在发生紧急情况时同外界进行联系。

6. 21 世纪——AI 发展的新时代（2001~至今）

21 世纪以来，机器人技术长足发展，生命科学春天的到来——智能与基因结构特性的揭示，智能通信互联网的进步，人工生命研究成果不断推出等。可以料想：发展中的网络智能技术，分布式人工智能以及多 Agent 技术，新型计算机技术诸如光计算机、量子计算机、生物计算机和智能计算技术相结合，尤其生物智能生命的克隆技术发展等，都将给人类带来前所未有的巨大而深远的影响。

21 世纪是智能科学、生命科学及其信息集成并融合应用的年代，作为现代信息技术的精髓，人工智能技术自然成为了新世纪科学技术的前沿和焦点。几十年来，我国科技工作者在人工智能领域的研究也不断地取得了突破性进展。例如，在人工智能的理论方法研究方面，提出了机器定理证明的吴氏方法、广义智能信息系统论、“信息—知识—智能”转换理论、全息拓扑理论、泛逻辑学等具有创新特色的理论和方法，为人工智能理论的发展提供了新的理论体系。在人工智能的应用技术开发方面，开发了中医专家系统、农业专家系统、汉字识别系统、汉英识别系统、汉英机译系统等具有中国特色的人工智能应用技术和产品。

1.4 人工智能主要学派及其研究方法

1.4.1 人工智能主要学派

在人工智能科学的研究与发展中，形成了诸多学派。其中主要有三大流派，它们是：

（1）功能派 这是最早发展起来的传统主流学派，又称逻辑学派或宏观功能派，采用功能模拟的观点，使用的是“黑盒”研究方法。

（2）结构派 这也是最早发展起来的传统学派之一，又称生物学派或微观结构派，与功能派不同，它采用的是结构模拟的观点，使用的是“白盒”研究方法。

（3）行为派 行为派，又被称作实用技术学派。与传统学派完全不同，它采用实用行为模拟的观点，使用“能工巧匠”式的制造方法，是一种按照“激励—响应”的工作模式来建立实用工程装置的研究方法。也有人认为这是一种实现 Agent 模型的技术方法。

功能派涉及众多学科技术，包括逻辑学、心理学、数学、物理学、工具学、语言学、计算机、数理逻辑等学科；结构派涉及学科有生物学、微结构学、医学、仿生学、神经生理学等；行为派涉及学科有行为学、工程学、机械学、电子学等。

赞成 AI 的，代表了进化论、创新论、科学技术改造世界的观点；而从论理道德、神学论等观点出发，又派生出 AI 的反对派，包括神学论、创生论、“上帝”说等方面的观点。

从认识上应该看到，正是不同学科的学者云集，异途同索，各自进行人工智能的探索研究，从而形成了诸多学派。各个学派学术观点虽有所不同，研究思路各有侧重，对人工智能理解定义也不完全一致，所以各有所获，各有千秋，百家争鸣，百花齐放，争芳斗艳，这一切共同形成了人工智能科学生动活泼的研究氛围。

1.4.2 功能派及其研究方法

1. 主要观点

计算机的智能可以用硬件，尤其可用软件来实现。任何智能系统的功能及其控制均可用程序命令来完成。程序命令就是一种语言文字符号，因此，一切智能实际上都可以用语言、文字及符号来表示并完成，故又称为符号派。

通常程序命令都是用逻辑思想或按逻辑规律进行设计编写的，计算机按照逻辑程序运行，这样，就有了按逻辑进行识别判断的能力。因此，这样一种智能实现思路又称为逻辑功能派。

2. 重要事件与技术发展

20 世纪 50 年代 Samuel 创制的具有学习功能的跳棋程序；Newell、Show、Simon 等人共同创制的 LT (Logic Theoretical) 程序；

20 世纪 60 年代仍然由 Newell、Show、Simon 等人提出的 GPS (General Problem Solver) 程序，据说可解决 11 类不同领域的问题；还有各种形式化语言的提出，例如 1960 年，J.McCarthy 提出了 Lisp 语言；

20 世纪 70 年代 Feigenbaum 提出了专家系统 ES，重新举起了 Bacon 的“知识就是力量”的旗帜；

20 世纪 80 年代的日本人提出了 KIPS (Knowledge Information Processing System) 研究计划；

20 世纪 90 年代的人机博弈；

21 世纪之初的现代演绎战争等。

随后智能软件工程技术发展，现代智能计算机发展技术等，大多采用了以符号化及其处理为核心的研究方法，也就是 AI 的主流思想方法。

3. 主要特征

符号逻辑所表现的合理性和必然性反映在如下方面：

- 1) 逻辑型推理，符合人类心理特点。
- 2) 形式化表达，易建模建库（知识库——无需输入大量的细节知识，简化了问题求解的设计过程），设计方便易行。
- 3) 模块化思路处理，易于扩充修改。
- 4) 结合界面可视化设计，易于理解，启发式思维，便于设计实现。

5) 工作过程透明, 便于解释、跟踪, 用户心理易于接受。

4. 存在局限性及可能解决的途径

1) 形式化方法对于非逻辑的推理过程、经验式模糊推理、形象思维推理往往难以用符号系统表示。

2) 符号形式化方法的有效性取决于符号概念的精确性。当把有关信息转换成符号化的推理机制时, 将会丢失一些重要的信息。

3) 对于带有噪声的信息以及不完整的信息往往也难以进行恰当的表达和处理。

解决局限性的可能途径是: 可采用互连技术的方法——即结构派采用技术思路, 则具有很好的互补作用。

1.4.3 网络互连 (Network Connection) 的技术研究方法

1. 主要观点

网络互连技术学派认为: 人类的智能归根结底是用大脑中的神经元活动来实现的, 神经元是一种具有记忆、联想、协调工作的智能网络。因此, 可以在结构上采用生物神经元及其连接机制来模仿生成其全部的智能活动。显然, 这是一种“白盒法”的微结构模拟智能活动的研究思路。

结构派认为大脑是一切智能活动的物质基础, 因而从生物神经元模型着手, 设法搞清楚大脑的结构以及它进行信息处理的过程与机理, 有望从物质结构本质上揭示人类智能的奥秘。

但是, 由于人脑有多达 $10^{11} \sim 10^{12}$ 个神经元, 每个神经元又与 $10^3 \sim 10^4$ 个其他神经元互相联系, 构成了一个多层次立体结构的复杂互连的网络, 加之, 这种结构的特性是基于生命活动而存活的, 因此, 客观上完成这种模拟是不可能的, 这就造成该研究长期处于停滞不前的状态。加之, 计算机技术, 集成记忆单元局限性, 一直到 20 世纪 80 年代后, 在功能模拟研究暂趋于平稳冷静状态时, 结构派又随着微处理器集成化发展而活跃起来。

2. 重要成果与发展历程

1) 1943 年初次提出神经元模型。

2) 20 世纪 80 年代中后期各种 ANN 模型如雨后春笋, 脱颖而出。

3) 20 世纪 90 年代前后, 世界兴起 ANN 研究热潮, 论文研究成果成千上万。

4) 神经网络计算机提出, 多达数百个以上微处理器互连而成。

5) 计算智能, 遗传算法研究兴起与发展。

6) 现代 ANN 技术结合图像处理, 动态目标识别, 对于局部畸变不敏感, 常常能获得意外效果。

3. 主要特点

这种方法通过对 I/O 信息状态 (抑制/兴奋) 模式进行分析处理, 可以从训练样本中自动获取知识, 逐步适应环境的变化。由于它采用分布式表示信息, 一个概念不是对应于一个节点, 而是对应于一种分布模式, 因此, 可实现联想机制。其次, 噪声信息可在分布式表达中得到近似体现, 加以处理, 就能得到比较满意而合理的结果。总结起来:

1) 循序渐进训练, 符合人类学习发展过程规律, 适于机器学习训练, 特色明显。

2) 形象性思维, 直观明了。