

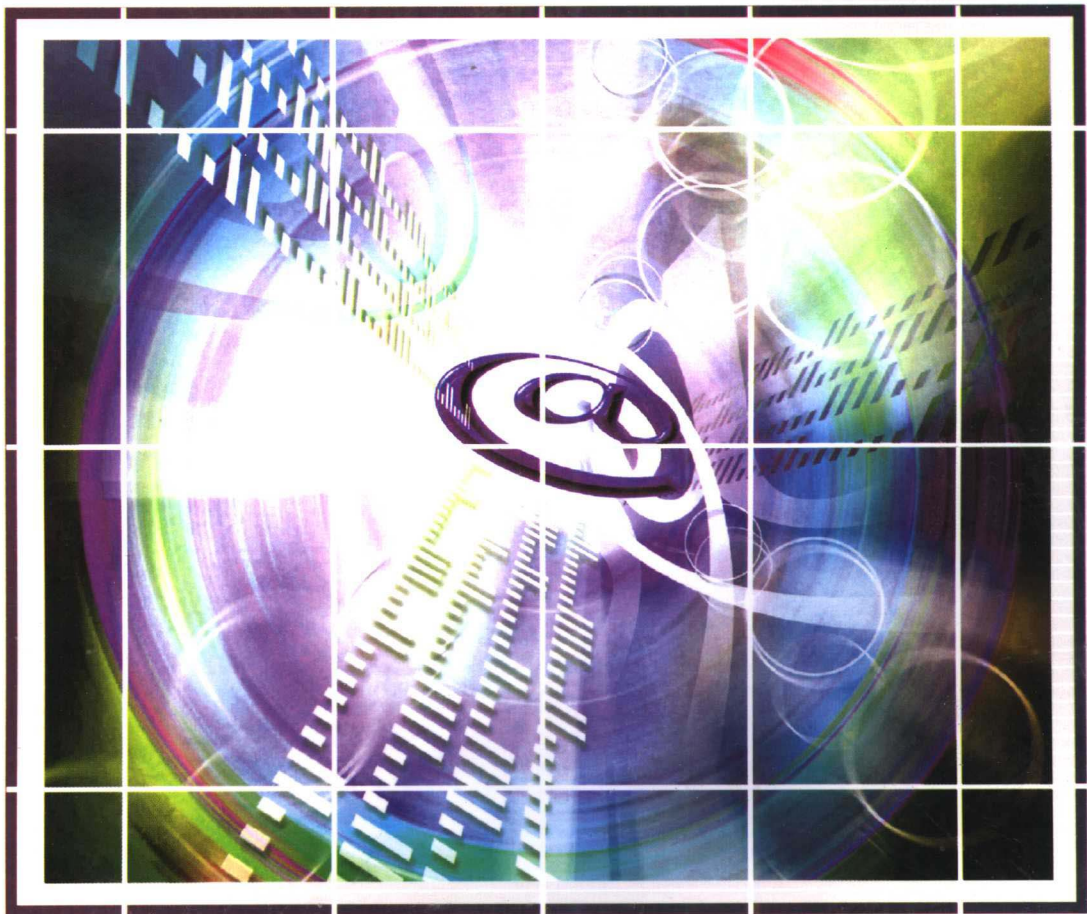


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

人工智能技术导论

(第三版)

廉师友 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

普通高等教育“十一五”国家级规划教材



新世纪计算机类本科规划教材

人工智能技术导论

(第三版)

廉师友 编著

西安电子科技大学出版社

2007

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了人工智能技术的基本概念和原理,勾画了人工智能学科知识体系的基本框架。全书共分为6篇。第1篇:概述与工具,概要介绍人工智能学科的知识体系、分支领域和研究方向;第2篇:搜索与求解,介绍图搜索与问题求解及基于遗传算法的随机优化搜索;第3篇:知识与推理,介绍一些常见知识表示和不确定性知识表示及其推理;第4篇:学习与发现,介绍机器学习、知识发现与数据挖掘的基本原理和方法;第5篇:感知与交流,简介模式识别和自然语言理解的基本原理;第6篇:系统与建造,主要介绍专家系统、Agent系统、智能化网络和智能机器人的设计与实现技术。

本书为“十一五”国家级规划教材,适应专业为计算机、自动化、智能科学与技术、软件、电子、信息、管理、控制及系统工程等;本书也可作为非计算机类专业的研究生教材或教学参考书,亦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。

图书在版编目(CIP)数据

人工智能技术导论/廉师友编著. —3版. —西安:西安电子科技大学出版社,2007.5

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

(新世纪计算机类本科规划教材)

ISBN 978-7-5606-1831-9

I. 人… II. 廉… 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(2007)第 057171 号

策 划 陈宇光

责任编辑 杨宗周

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

<http://www.xduph.com> E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2000年1月第1版 2002年7月第2版 2007年5月第3版 2007年5月第12次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 20.125

字 数 475千字

印 数 56 001~60 000册

定 价 24.00元

ISBN 978-7-5606-1831-9/TP·0953

XDUP 2123003-12

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

本书第二版自 2002 年出版发行以来被国内众多院校所采用,并被不少同类教材参考或引用;2003 年该书被评为全国优秀畅销书,2005 年又荣获省部级教学成果奖。

然而,经过 50 余年发展的人工智能现在已经是一个大学科了,这就要求人工智能的导论性教科书能够尽量反映该学科的知识体系。同时我们看到,近年来人工智能学科正在以前所未有的速度迅猛发展,新思想、新理论、新技术、新方法不断涌现,新分支、新领域不断拓展。那么,作为人工智能课程的教材,也应该与时俱进。在这样的形势下,本书的版本升级已势在必行。

另一方面,第二版在使用过程中,也发现了一些问题和不足。

鉴于以上情况,作者便决定再接再厉“更上一层楼”,继续推出本书的第三版。正好适逢国家“十一五”规划教材选题,该书荣幸地也被选中。

肩负国家级教材的重任,面对新的水准和目标,作者首先参阅了大量国内外同类教材和相关文献资料(这些教材和文献从 1987 年至 2006 年,20 年不间断);然后,一方面博采众长,一方面又不落俗套,大胆创新,对第三版进行精心策划,仔细斟酌;初稿写出后,又几经修改,反复推敲。这样,共历时两载,方脱稿成书。

具体来讲,对于本书的撰写,作者主要从以下几个方面做了努力和探索,这也可算是该书的一些特色:

——结合人工智能学科的已有成果与研究现状以及作者自己的研究实践,在第 1 章中对人工智能的学科范畴、研究内容、研究途径与方法、基本技术、应用领域与课题、分支领域与研究方向、历史、现状与发展趋势等进行了全方位的归纳和总结,从而全面系统地概述了人工智能技术的基本概念和原理,构成了全书的导引和平台。

——将人工智能学科的研究内容归纳概括为:搜索与求解、学习与发现、知识与推理、发明与创造、感知与交流、记忆与联想、系统与建造、应用与工程等 8 个方面和领域;进而在此基础上组织教材,将当前人工智能(导论)课程的内容分为搜索与求解、知识与推理、学习与发现、感知与交流、系统与建造等 5 个知识单元。这 5 个知识单元既勾画出了人工智能学科知识体系的基本框架,又构成了本教材独特的结构风格。

——在选材方面,继续以基础、简明、新颖、实用的取材原则,确定各篇、章、节的具体内容。考虑到人工智能技术的飞速发展,并结合 ACM 和 IEEE-CS 的 CC2001/2005 中对人工智能课程内容的要求,书中注意收编了该学科的最新成果,使得该课程的教学能跟上学科的发展步伐,但对于较深入和较专门的内容则点到为止。

——在写法上,继续保持简明扼要、理例结合、条理清楚、深入浅出的写作风格,并力求易读易懂、易教易学。

——除了习题外,书中还安排了上机实习内容及指导。书末还附有中英文名词对照及索引,相当于一个小型人工智能辞典。

——第 1 章的内容特点和全书的结构风格使本书具有很好的适应性。事实上,用户可

以第1章为基础和平台,再根据各自的需要,灵活地对书中的篇、章、节甚至小节进行取舍,组织自己的教学内容。这就是说,本教材可适应多种不同课时和要求的教学。

与第二版相比,本版增添了一些章节,重写了一些章节,删除归并了一些章节,修订补充了一些章节(包括插图、例题和习题),使得本书的内容更加充实和精炼。虽然如此,但第二版的影子仍隐约可见。这就是说,对于已经使用过本书第二版的院校和老师,是很容易转到第三版上来的。

另外,本书还配有电子课件和教学网站,所以,本教材既便于集体教学也适于个人自学。

本书的适用专业为计算机、自动化、智能科学与技术、软件、电子、信息、管理、控制及系统工程等;本书也可作为非计算机类专业的研究生教材或教学参考书,亦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。

需指出的是,尽管作者对本教材的撰写付出了很大努力,但由于视野和水平的限制,书中肯定仍有一些不够如意之处,故恳请专家、同行不吝赐教,也希望广大师生和读者提出宝贵意见和建议。

在本书第三版出版之际,再一次感谢一直对本书给予关怀和支持的中国人工智能学会荣誉理事长涂序彦教授和副理事长何华灿教授。同时,也感谢西安石油大学的经费支持,感谢西安电子科技大学出版社的经费支持,感谢陈宇光总编和杨宗周编辑的辛勤劳动。还要感谢为本书提供了知识资源的国内外专家、学者以及所有为本书的出版提供过帮助和支持的人士们。

作者

(lsy7622@126.com)

2007年3月

目 录

第 1 篇 概述与工具

第 1 章 人工智能概述	2	1.7.4 自动程序设计	13
1.1 什么是人工智能	2	1.7.5 机器翻译	13
1.1.1 人工智能概念的一般描述	2	1.7.6 智能控制	13
1.1.2 图灵测试和中文屋子	2	1.7.7 智能管理	14
1.1.3 脑智能和群智能	3	1.7.8 智能决策	14
1.1.4 符号智能和计算智能	4	1.7.9 智能通信	14
1.2 人工智能的研究意义、目标和策略	4	1.7.10 智能仿真	15
1.2.1 为什么要研究人工智能	4	1.7.11 智能 CAD	15
1.2.2 人工智能的研究目标和策略	5	1.7.12 智能制造	15
1.3 人工智能的学科范畴	5	1.7.13 智能 CAI	15
1.4 人工智能的研究内容	5	1.7.14 智能人机接口	16
1.4.1 搜索与求解	6	1.7.15 模式识别	16
1.4.2 学习与发现	6	1.7.16 数据挖掘与数据库中的 知识发现	16
1.4.3 知识与推理	6	1.7.17 计算机辅助创新	17
1.4.4 发明与创造	6	1.7.18 计算机文艺创作	18
1.4.5 感知与交流	7	1.7.19 机器博弈	19
1.4.6 记忆与联想	7	1.7.20 智能机器人	20
1.4.7 系统与建造	8	1.8 人工智能的分支领域与研究方向	20
1.4.8 应用与工程	8	1.9 人工智能的发展概况	21
1.5 人工智能的研究途径与方法	8	1.9.1 人工智能学科的产生	21
1.5.1 心理模拟, 符号推演	8	1.9.2 符号主义途径发展概况	22
1.5.2 生理模拟, 神经计算	9	1.9.3 连接主义途径发展概况	23
1.5.3 行为模拟, 控制进化	9	1.9.4 计算智能异军突起	24
1.5.4 群体模拟, 仿生计算	10	1.9.5 智能 Agent 方兴未艾	25
1.5.5 博采广鉴, 自然计算	10	1.9.6 现状与发展趋势	26
1.5.6 原理分析, 数学建模	10	习题一	26
1.6 人工智能的基本技术	11	第 2 章 逻辑程序设计语言	
1.7 人工智能的应用	11	PROLOG	27
1.7.1 难题求解	11	2.1 基本 PROLOG	27
1.7.2 自动规划、调度与配置	12		
1.7.3 机器定理证明	12		

2.1.1 PROLOG 的语句	27	2.2.4 分支与循环	39
2.1.2 PROLOG 的程序	28	2.2.5 动态数据库	40
2.1.3 PROLOG 程序的运行机理	30	2.2.6 表处理与递归	41
2.2 Turbo PROLOG 程序设计	32	2.2.7 回溯控制	44
2.2.1 程序结构	33	2.2.8 程序举例	45
2.2.2 数据与表达式	35	习题二	47
2.2.3 输入与输出	38		

第 2 篇 搜索与求解

第 3 章 图搜索与问题求解	49	3.4 与或图搜索问题求解	78
3.1 状态图搜索	49	3.4.1 问题的与或图表示	78
3.1.1 状态图	49	3.4.2 与或图问题求解程序举例	79
3.1.2 状态图搜索	50	3.5 博弈树搜索	81
3.1.3 穷举式搜索	53	3.5.1 博弈树的概念	81
3.1.4 启发式搜索	56	3.5.2 极小极大分析法	81
3.1.5 加权状态图搜索	58	3.5.3 α - β 剪枝技术	83
3.1.6 A 算法和 A* 算法	59	习题三	84
3.1.7 状态图搜索策略小结	61	第 4 章 基于遗传算法的随机	
3.2 状态图搜索问题求解	61	优化搜索	86
3.2.1 问题的状态图表示	62	4.1 基本概念	86
3.2.2 状态图问题求解程序举例	65	4.2 基本遗传算法	88
3.3 与或图搜索	71	4.3 遗传算法应用举例	89
3.3.1 与或图	71	4.4 遗传算法的特点与优势	92
3.3.2 与或图搜索	73	习题四	92
3.3.3 启发式与或树搜索	74		

第 3 篇 知识与推理

第 5 章 基于谓词逻辑的机器推理	95	5.4 归结策略	113
5.1 一阶谓词逻辑	95	5.4.1 问题的提出	113
5.1.1 谓词、函数、量词	95	5.4.2 几种常用的归结策略	115
5.1.2 谓词公式	96	5.4.3 归结策略的类型	119
5.1.3 谓词逻辑中的形式演绎推理	98	5.5 归结反演程序举例	119
5.2 归结演绎推理	102	5.6 Horn 子句归结与逻辑程序	122
5.2.1 子句集	102	5.6.1 子句的蕴含表示形式	122
5.2.2 命题逻辑中的归结原理	104	5.6.2 Horn 子句与逻辑程序	124
5.2.3 替换与合一	106	5.7 非归结演绎推理	124
5.2.4 谓词逻辑中的归结原理	109	5.7.1 Bledsoe 自然演绎法	124
5.3 应用归结原理求取问题答案	111	5.7.2 基于规则的演绎推理	124

5.7.3 王浩算法	124	7.3 类与对象	148
习题五	125	习题七	150
第6章 基于产生式规则的机器推理 ...	127	第8章 不确定性知识的表示与推理 ...	151
6.1 产生式规则	127	8.1 不确定性处理概述	151
6.1.1 产生式规则	127	8.1.1 不确定性及其类型	151
6.1.2 基于产生式规则的推理模式	128	8.1.2 不确定性知识的表示及推理	152
6.2 产生式系统	128	8.1.3 不确切性知识的表示及推理	154
6.2.1 系统结构	128	8.1.4 多值逻辑	156
6.2.2 运行过程	128	8.1.5 非单调逻辑	157
6.2.3 控制策略与常用算法	129	8.1.6 时序逻辑	157
6.2.4 程序实现	132	8.2 几种经典的不确定性推理模型	157
6.2.5 产生式系统与问题求解	135	8.2.1 确定性理论	157
习题六	137	8.2.2 主观贝叶斯方法	159
第7章 几种结构化知识表示 及其推理	138	8.2.3 证据理论	164
7.1 框架	138	8.3 基于贝叶斯网络的概率推理	169
7.1.1 框架的概念	138	8.3.1 什么是贝叶斯网络	169
7.1.2 框架的表达能力	139	8.3.2 用贝叶斯网络表示不确定性 知识	170
7.1.3 基于框架的推理	141	8.3.3 基于贝叶斯网络的概率推理	171
7.1.4 框架的程序语言实现	141	8.4 基于模糊集合与模糊逻辑的模糊 推理	173
7.2 语义网络	142	8.4.1 模糊集合	173
7.2.1 语义网络的概念	142	8.4.2 模糊逻辑	175
7.2.2 语义网络的表达能力	143	8.4.3 模糊推理	176
7.2.3 基于语义网络的推理	147	习题八	180
7.2.4 语义网络的程序语言实现	147		

第4篇 学习与发现

第9章 机器学习与知识发现	183	9.3.1 生物神经元	198
9.1 机器学习概述	183	9.3.2 人工神经元	199
9.1.1 机器学习的概念	183	9.3.3 神经网络	200
9.1.2 机器学习的原理	183	9.3.4 神经网络学习	202
9.1.3 机器学习的分类	186	9.3.5 BP网络及其学习举例	204
9.2 符号学习	188	9.3.6 神经网络模型	206
9.2.1 记忆学习	188	9.4 知识发现与数据挖掘	207
9.2.2 示例学习	189	9.4.1 知识发现的一般过程	208
9.2.3 决策树学习	190	9.4.2 知识发现的对象	208
9.2.4 演绎学习	198	9.4.3 知识发现的任务	210
9.2.5 类比学习	198	9.4.4 知识发现的方法	211
9.3 神经网络学习	198	习题九	212

第5篇 感知与交流

第10章 模式识别	215	第11章 自然语言理解	223
10.1 模式识别概述	215	11.1 简单句理解	223
10.1.1 模式、模式类与模式识别	215	11.1.1 理解的实现过程	223
10.1.2 模式的表示	216	11.1.2 语法分析	224
10.1.3 模式识别系统的工作原理	216	11.1.3 语义分析	226
10.1.4 模式识别方法的分类	217	11.2 复合句理解	226
10.2 统计模式识别	218	11.3 转换文法和转换网络	227
10.2.1 距离分类法	218	11.3.1 转换文法	228
10.2.2 几何分类法	219	11.3.2 转换网络	229
10.2.3 概率分类法	221	习题十一	230
习题十	222		

第6篇 系统与建造

第12章 专家系统	232	12.4.4 知识表示与知识描述语言 设计	250
12.1 基本概念	232	12.4.5 知识库与知识库管理系统 设计	250
12.1.1 什么是专家系统	232	12.4.6 推理机与解释机制设计	252
12.1.2 专家系统的特点	233	12.4.7 系统结构设计	253
12.1.3 专家系统的类型	233	12.4.8 人机界面设计	254
12.1.4 专家系统与基于知识的系统	234	12.5 开发工具与环境	254
12.1.5 专家系统与知识工程	234	12.5.1 开发工具	254
12.2 系统结构	235	12.5.2 开发环境	256
12.2.1 概念结构	235	12.6 专家系统的发展	257
12.2.2 实际结构	236	12.6.1 深层知识专家系统	257
12.2.3 黑板模型	238	12.6.2 模糊专家系统	257
12.2.4 网络与分布式结构	239	12.6.3 神经网络专家系统	258
12.3 实例分析	240	12.6.4 大型协同分布式专家系统	258
12.3.1 PROSPECTOR 的功能与 结构	240	12.6.5 网上(多媒体)专家系统	259
12.3.2 知识表示	241	12.6.6 事务处理专家系统	259
12.3.3 推理模型	246	习题十二	259
12.3.4 控制策略	247	第13章 Agent 系统	261
12.3.5 解释系统	248	13.1 Agent 的概念	261
12.4 系统设计与实现	248	13.1.1 什么是 Agent	261
12.4.1 一般步骤与方法	248	13.1.2 Agent 的类型	262
12.4.2 快速原型与增量式开发	249	13.2 Agent 的结构	262
12.4.3 知识获取	249		

13.3 Agent 实例——Web Agent	263	15.6 机器人程序设计与语言	281
13.4 多 Agent 系统	263	15.6.1 机器人程序设计	281
13.4.1 多 Agent 系统的特征和研究 内容	264	15.6.2 机器人程序设计语言	282
13.4.2 多 Agent 系统的体系结构	264	习题十五	284
13.5 Agent 的实现工具	267	第 16 章 智能程序设计语言	285
13.6 Agent 技术的发展与应用	267	16.1 综述	285
习题十三	268	16.1.1 函数型语言	285
第 14 章 智能计算机与智能化网络	269	16.1.2 逻辑型语言	285
14.1 智能计算机	269	16.1.3 面向对象语言	286
14.1.1 智能硬件平台和智能操作 系统	269	16.1.4 混合型语言	286
14.1.2 LISP 机和 PROLOG 机	270	16.2 函数型程序设计语言 LISP	287
14.1.3 神经网络计算机	270	16.2.1 LISP 的程序结构与运行机制	287
14.1.4 智能计算机发展展望	271	16.2.2 S-表达式	288
14.2 智能化网络	271	16.2.3 基本函数	289
14.2.1 智能网络	272	16.2.4 自定义函数	292
14.2.2 网络的智能化管理与控制	273	16.2.5 程序举例	292
14.2.3 网上信息的智能化检索	274	16.3 Visual Prolog 语言简介	293
习题十四	277	习题十六	294
第 15 章 智能机器人	278	上机实习指导	295
15.1 智能机器人的概念	278	实习一 PROLOG 语言编程练习	295
15.2 机器人感知	278	实习二 图搜索问题求解	296
15.3 机器人规划	279	实习三 小型专家系统设计与实现	296
15.4 机器人控制	280	中英文名词对照及索引	300
15.5 机器人系统的软件结构	281	参考文献	310

第 1 篇 概 述 与 工 具

何为人工智能？如何实现人工智能？人工智能有何用？人工智能如何用？……，这些问题和知识是我们学习人工智能，研究人工智能，应用人工智能所需要首先考虑和了解的。本篇将简要阐述这些问题并引导读者概览人工智能的学科领域和历史渊源。

第 1 章 人工智能概述

1.1 什么是人工智能

1.1.1 人工智能概念的一般描述

顾名思义,人工智能就是人造智能,其英文表示是“Artificial Intelligence”,简称 AI。“人工智能”一词目前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。当然,这只是对人工智能的字面解释或一般解释。关于人工智能的科学定义,学术界目前还没有统一的认识。下面是部分学者对人工智能概念的描述,可以看做是他们各自对人工智能所下的定义。

——人工智能是那些与人的思维相关的活动,诸如决策、问题求解和学习等的自动化(Bellman, 1978 年)。

——人工智能是一种计算机能够思维,使机器具有智力的激动人心的新尝试(Haugeland, 1985 年)。

——人工智能是研究如何让计算机做现阶段只有人才能做得好的事情(Rich Knight, 1991 年)。

——人工智能是那些使知觉、推理和行为成为可能的计算的研究(Winston, 1992 年)。

——广义地讲,人工智能是关于人造物的智能行为,而智能行为包括知觉、推理、学习、交流和在复杂环境中的行为(Nilsson, 1998 年)。

——Stuart Russell 和 Peter Norvig 则把已有的一些人工智能定义分为 4 类:像人一样思考的系统、像人一样行动的系统、理性地思考的系统、理性地行动的系统(2003 年)。

可以看出,这些定义虽然都指出了人工智能的一些特征,但用它们却难以界定一台计算机是否具有智能。因为要界定机器是否具有智能,必然要涉及到什么是智能的问题,但这却是一个难以准确回答的问题。所以,尽管人们给出了关于人工智能的不少说法,但都没有完全或严格地用智能的内涵或外延来定义人工智能。

1.1.2 图灵测试和中文屋子

关于如何界定机器智能,早在人工智能学科还未正式诞生之前的 1950 年,计算机科学创始人之一的英国数学家阿兰·图灵(Alan Turing)就提出了现称为“图灵测试”(Turing Test)的方法。简单来讲,图灵测试的做法是:让一位测试者分别与一台计算机和一个人进行交谈(当时是用电传打字机),而测试者事先并不知道哪一个被测者是人,哪一个为计算

机。如果交谈后测试者分不出哪一个被测者是人，哪一个是计算机，则可以认为这台被测的计算机具有智能。

对于“图灵测试”，美国哲学家约翰·西尔勒(John Searle, 1980年)提出了异议。他用一个现在称为“中文屋子”的假设，试图说明即便是一台计算机通过了图灵测试，也不能说它就真的具有智能。中文屋子假设是说：有一台计算机阅读了一段故事并且能正确回答相关问题，这样这台计算就通过了图灵测试。而西尔勒设想将这段故事和问题改用中文描述(因为他本人不懂中文)，然后将自己封闭在一个屋子里，代替计算机阅读这段故事并且回答相关问题。描述这段故事和问题的一连串中文符号只能通过一个很小的缝隙被送到屋子里。西尔勒则完全按照原先计算机程序的处理方式和过程(如符号匹配、查找、照抄等)对这些符号串进行操作，然后把得到的结果即问题答案通过小缝隙送出去。因为西尔勒根本不懂中文，不可能通过阅读理解来回答问题，但按照计算机程序的处理方法也得到了问题的正确答案。于是，西尔勒认为尽管计算机用这种符号处理方式也能正确回答问题，并且也可通过图灵测试，但仍然不能说计算机就有了智能。

可见，由于智能没有确切的定义就使得机器智能难以界定，这显然不利于人工智能的研究和发展。那么，如果能够给出智能的确切定义，则人工智能的确切定义和机器智能的界定问题就不难解决，而且对人工智能的研究内容和研究方法也有直接的指导意义。

1.1.3 脑智能和群智能

我们知道，人的智能源于人脑。但由于人脑是由大约 $10^{11} \sim 10^{12}$ 个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，例如学习、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，基于宏观心理层次，我们就可以定义智能和研究智能。基于这一认识，我们把脑(主要指人脑)的这种宏观心理层次上的智能表现称为**脑智能**(Brain Intelligence, BI)。

令人惊奇的是，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，例如蚂蚁群、蜜蜂群、鸟群、鱼群等等。在这些群体中，个体的功能都很简单，但它们的群体行为却会表现出相当的智慧，例如蚂蚁觅食时总会走最短路径。进一步人们发现，人体内免疫系统中淋巴细胞群也具有学习、寻优等能力。

让我们再用群的眼光来考察脑，可以发现，脑中的神经网络其实也就是由神经细胞组成的细胞群体。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。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上的智能。脑智能是一种**个体智能**(Individual Intelligence, II)，而群智能是一种**社会智能**(Social Intelligence, SI)，或者说是**系统智能**(System Intelligence, SI)。但对于人脑来说，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又有密切的关系——正是微观生理层次上低级的神经元的群智能形成了宏观心理层次上高级的脑智能(但二者之间的具体关系如

何,却仍然是个迷,这个问题的解决需要借助于系统科学)。

1.1.4 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,它是模拟脑智能的人工智能,也就是所说的传统人工智能或经典人工智能。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)、知识表示(knowledge representation)、知识组织与管理 and 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,运用算法进行问题求解。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)、粒群算法(Particle Swarm Algorithm, PSA)、蚁群算法(Ant Colony Algorithm, ACA)、自然计算(Natural Computation, NC)以及人工生命(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 人工智能的研究意义、目标和策略

1.2.1 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的话,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,其作用将是不可估量的。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。我们知道,人类社会现在已经进入了信息化时代。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)就强烈地需要智能技术的支持。也就是说,人工智能技术在 Internet、WWW 和 Grid 上将发挥重要作用。

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,再向前发展就必然是智能化。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。

另外,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。因为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。

1.2.2 人工智能的研究目标和策略

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,在有些方面甚至已经超过了人类。

1.3 人工智能的学科范畴

现在,人工智能已构成信息技术领域的一个重要学科。因为该学科研究的是如何使机器(计算机)具有智能或者说如何利用计算机实现智能的理论、方法和技术,所以,当前的人工智能既属于计算机科学技术的一个前沿领域,也属于信息处理和自动化技术的一个前沿领域。但由于其研究内容涉及到“智能”,因此,人工智能又不局限于计算机、信息和自动化等学科,还涉及到智能科学、认知科学、心理科学、脑及神经科学、生命科学、语言学、逻辑学、行为科学、教育科学、系统科学、数理科学以及控制论、哲学甚至经济学等众多学科领域。所以,人工智能实际上是一门综合性的交叉学科和边缘学科。

1.4 人工智能的研究内容

综合考虑人工智能的定义、目标、研究层次和方法,以及智能系统和工程应用等,我们发现,人工智能的研究内容可以归纳为:搜索与求解、学习与发现、知识与推理、发明与创造、感知与交流、记忆与联想、系统与建造、应用与工程等八个方面。这八个方面也就是人工智能的八个主题,它们构成了人工智能的八个纵向分支领域。

1.4.1 搜索与求解

所谓搜索，就是为了达到某一目标而多次地进行某种操作、运算、推理或计算的过程。事实上，搜索是人在求解问题时而不知现成解法的情况下所采用的一种普遍方法。这可以看做是人类和其他生物所具有的一种元知识。另一方面，人工智能的研究实践也表明，许多问题(包括智力问题和实际工程问题)的求解都可以描述为或者归结为对某种图或空间的搜索问题。进一步人们发现，许多智能活动(包括脑智能和群智能)的过程，甚至几乎所有智能活动的过程，都可以看做或者抽象为一个基于搜索的问题求解过程。因此，搜索技术就成为人工智能最基本的研究内容。

1.4.2 学习与发现

学习与发现是指机器的知识学习和规律发现。事实上，经验积累能力、规律发现能力和知识学习能力都是智能的表现。那么，要实现人工智能就应该赋予机器这些能力。因此，关于机器的学习和发现技术就是人工智能的重要研究内容。

1.4.3 知识与推理

我们知道“知识就是力量”。在人工智能中，人们则更进一步领略到了这句话的深刻内涵。的确，对智能来说，知识太重要了，以致可以说“知识就是智能”。事实上，能发现客观规律是一种有智能的表现，能运用知识解决问题也是有智能的表现，而且是最为基本的一种表现。而发现规律和运用知识本身还需要知识。因此可以说，知识是智能的基础和源泉。所以，要实现人工智能，计算机就必须拥有知识和运用知识的能力。为此，就要研究面向机器的知识表示形式和基于各种表示的机器推理技术。知识表示要求便于计算机的接受、存储、处理和运用，机器的推理方式与知识的表示又息息相关。由于推理是人脑的一个基本功能和重要功能，因此，在符号智能中几乎处处都与推理有关。这样，知识的表示和推理技术就成为人工智能的一个重要研究内容。

1.4.4 发明与创造

不言而喻，发明创造应该是最具智能的体现。或者说，发明创造能力是最高级的智能，所以，关于机器的发明创造能力也应该是人工智能研究的重要内容。这里的发明创造是广义的，它既包括我们通常所说的发明创造，如机器、仪器、设备等的发明和革新，也包括创新性软件、方案、规划、设计等的研制和技术、方法的创新以及文学、艺术的创作，还包括思想、理论、法规的建立和创新等等。我们知道，发明创造不仅需要知识和推理，还需要想象和灵感。它不仅需要逻辑思维，而且还需要形象思维。所以，这个领域应该说是人工智能中最富挑战性的一个研究领域。目前，人们在这一领域已经开展了一些工作，并取得了一些成果，例如已展开了关于形象信息的认知理论、计算模型和应用技术的研究，已开发出了计算机辅助创新软件，还尝试用计算机进行文艺创作等等。但总的来讲，原创性的机器发明创造进展甚微，甚至还是空白。

1.4.5 感知与交流

感知与交流是指计算机对外部信息的直接感知和人机之间、智能体之间的直接信息交流。机器感知就是计算机直接“感觉”周围世界，就像人一样通过“感觉器官”直接从外界获取信息，如通过视觉器官获取图形、图像信息，通过听觉器官获取声音信息。所以，机器感知包括计算机视觉、听觉等各种感觉能力。机器信息交流涉及通信和自然语言处理等技术。自然语言处理又包括自然语言理解和表达。感知和交流是拟人化智能个体或智能系统（如 Agent 和智能机器人）所不可缺少的功能组成部分，所以这也是人工智能的研究内容之一。

1.4.6 记忆与联想

记忆是智能的基本条件，不管是脑智能还是群智能，都以记忆为基础。记忆也是人脑的基本功能之一。在人脑中，伴随着记忆的就是联想，联想是人脑的奥秘之一。

仔细分析人脑的思维过程，可以发现，联想实际是思维过程中最基本、使用最频繁的一种功能，例如当听到一段乐曲，我们头脑中可能会立即浮现出几十年前的某一个场景，甚至一段往事，这就是联想。所以，计算机要模拟人脑的思维就必须具有联想功能。要实现联想无非就是建立事物之间的联系。在机器世界里面就是有关数据、信息或知识之间的联系。当然，建立这种联系的办法很多，比如用指针、函数、链表等等。我们通常的信息查询就是这样做的。但传统方法实现的联想，只能对于那些完整的、确定的（输入）信息，联想起（输出）有关的信息。这种“联想”与人脑的联想功能相差甚远。人脑能对那些残缺的、失真的、变形的输入信息，仍然可以快速准确地输出联想响应。例如，多年不见的老朋友（面貌已经变化），仍能一眼认出。

从机器内部的实现方法来看，传统的信息查询是基于传统计算机的按地址存取方式进行的。而研究表明，人脑的联想功能是基于神经网络的按内容记忆方式进行的。也就是说，只要是内容相关的事情，不管在哪里（与存储地址无关），都可由其相关的内容被想起。例如，苹果这一概念，一般有形状、大小、颜色等特征，我们所要介绍的内容记忆方式就是由形状（比如苹果是圆形的）想起颜色、大小等特征，而不需要关心其内部地址。

当前，在机器联想功能的研究中，人们就是利用这种按内容记忆原理，采用一种称为“联想存储”的技术来实现联想功能。联想存储的特点是：

- 可以存储许多相关（激励，响应）模式对。
- 通过自组织过程可以完成这种存储。
- 以分布、稳健的方式（可能会有很高的冗余度）存储信息。
- 可以根据接收到的相关激励模式产生并输出适当的响应模式。
- 即使输入激励模式失真或不完全时，仍然可以产生正确的响应模式。
- 可在原存储中加入新的存储模式。

联想存储可分为矩阵联想存储、全息联想存储、Walsh 联想存储和网络联想存储等。

联想是最基本、最基础的思维活动，它与许多 AI 技术都息息相关。联想的前提是联想记忆或联想存储，这也是一个富有挑战性的技术领域。