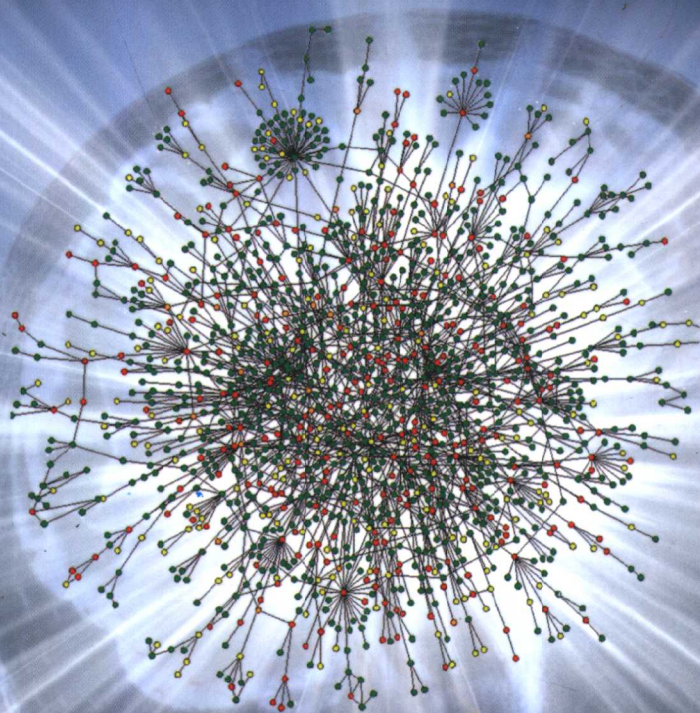


# 不确定性人工智能

## Artificial Intelligence with Uncertainty

李德毅 杜鹞 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

**图书在版编目(CIP)数据**

不确定性人工智能/李德毅,杜鹞著. —北京:国防工业出版社,2005.7

ISBN 7-118-03921-7

I.不... II.①李...②杜... III.不确定性-人工智能-研究 IV.TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 044298 号

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 27 $\frac{1}{4}$  445 千字

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月北京第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:56.00 元

---

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

## 致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助

#### IV

的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金**

**评审委员会**

# 国防科技图书出版基金 第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员	陈达植			
顾问	黄宁			
主任委员	刘成海			
副主任委员	王峰	张涵信	张又栋	
秘书长	张又栋			
副秘书长	彭华良	蔡镛		
委	(按姓名笔画排序)			
	于景元	王小谟	甘茂治	冯允成
	刘世参	杨星豪	李德毅	吴有生
	何新贵	佟玉民	宋家树	张立同
	张鸿元	陈火旺	侯正明	常显奇
	崔尔杰	韩祖南	舒长胜	

## 前 言

人们常说,世界尚有三大难题没有解决:生命的产生、宇宙的起源以及人脑是如何工作的。这本书和第三个问题相关,研究、探索在人脑认知过程中,知识和智能的不确定性,以及如何用计算机模拟并处理这种不确定性。

人为什么有智能?人的大脑如何工作?人脑作为数亿年生物进化、数百万年人类进化的结晶,是怎样处理不确定性的?对于这些非常重要也非常有趣的问题,我们却知之不多。

如果说脑科学是通过在细胞和分子水平上的研究来探索大脑的奥秘,如果说认知心理学家们是通过“刺激—反应”,即对“输入—输出”的观测来掌握大脑的规律,那么历经了近50年研究的人工智能学,则似乎更倾向于对知识进行形式化表示,更多地用符号逻辑的方法去模拟人脑的思维活动。

21世纪,我们进入信息时代,信息产业成为全球经济发展的主导产业,信息技术的迅猛发展正在改变着我们所生存的社会,包括人类的工作模式和生活形态。有人声称,以信息产业和信息技术为主导的知识经济时代正在全球范围内宣告它的到来。然而,我们在享受因特网技术和文化的同时,也面临着信息的泛滥,人们正力图通过人工智能的方法,

从数据的海洋中挖掘出真实的信息,挖掘出自己想要的信息,甚至挖掘出新的知识来。这里涉及到一个人工智能中最基本的问题,即知识的表示问题。曾经对电子计算机发展做出卓越贡献的20世纪最有影响的大科学家、被誉为“电子计算机之父”的冯·诺依曼先生,深入地研究了电子计算机和人脑的异同,在他的遗作中预言:“人脑的语言不是数学语言。”

自然语言是人类思维的基本工具。我们认为,人工智能研究的一个很重要的切入点,应该是自然语言。它是知识和智能的载体。人们用自然语言值来表示的定性概念,具有不确定性,尤其是随机性、模糊性,以及随机性和模糊性之间的关联性。如此选择切入点,并深化研究,就是我们要探讨的不确定性人工智能。

本书讨论了人类知识和智能中不确定性存在的客观性、普遍性和积极意义,并围绕不确定性人工智能的数学基础、特征、表示、模型、推理机制、不确定性思维活动中的确定性等进行了研究,从用于定性定量转换的云模型、认知的物理学方法,到数据挖掘、知识发现和智能控制逐层展开,寻找不确定性知识和智能处理中的规律性,最后对不确定性人工智能研究的发展方向进行了展望。

最近十几年来,我们在国家自然科学基金项目、973计划、863计划和国防预先研究基金的支持下,围绕不确定性人工智能做了一些研究工作。这些研究似乎正朝向一个有机的整体,能够把许多重要的但又是局部的结果,统一到一个令人满意的框架内,说明不确定性人工智能怎样拓展和一般化了传统人工智能学科。

“求知”和“求美”是人类天生的欲望。人是怎样认知的？又是怎样力图用一个“美”的理论去解释和模拟人的认知的？这正是我们努力探索的兴趣所在。鉴于本书研究的课题是如此富有挑战性，如此生动有趣，而作者的学识水平和实践能力却是有限的，因此写这本书是一次探索，是研究工作的深化活动。书中难免存在不妥之处，敬请广大读者批评指正。

本书的读者，可以是从事认知科学、脑科学、人工智能、计算机科学和控制论研究的学者，尤其是从事自然语言理解与处理、智能检索、知识工程、数据挖掘和知识发现、智能控制的研究和开发人员。同时，本书也可成为大专院校相关专业的研究生教学用书和参考用书，期望着有更多的人加入到不确定性人工智能的探索中来。我们内心的真诚和祝福同样要送给你——在某个时刻不经意地看到这本书的人们，也许它对你的工作和兴趣同样有益，这正是不确定性知识和智能的魅力所在。

作者

于 2005 年 3 月 18 日



## 内 容 简 介

本书讨论了人类知识和智能中,不确定性存在的客观性、普遍性和积极意义,围绕不确定性人工智能的数学基础、特征、表示、模型、推理机制、不确定性思维活动中的确定性等进行研究,从定性定量转换模型——云模型,认知的物理学方法——数据场、云变换、发现状态空间理论,到数据挖掘、知识发现和智能控制逐层展开,寻找不确定性知识和智能处理中的规律性,最后对不确定性人工智能研究的发展方向进行了展望。

本书的读者,可以是从事认知科学、脑科学、人工智能、计算机科学和控制论研究的学者,尤其是从事自然语言理解与处理、智能检索、知识工程、数据挖掘、智能控制的研究和开发人员;同时,本书也可作为大专院校相关专业的研究生教学用书或参考用书。

The book is concerned with uncertainty in Artificial Intelligence. Uncertainty in human intelligence and human knowledge is universal, objective and beautiful but also difficult to be simulated. The mathematic basis, model and reasoning mechanism for Artificial Intelligence with uncertainty are discussed in this book by cloud model data field, cognitive physics, qualitative control, data mining and knowledge discovery.

As the author's research contributions, this book has distinct characteristics. It is valuable for scientists and engineers engaged in cognitive science, AI theory and knowledge engineering, and also can be used as a reference book for graduate students in universities.

# 目 录

<b>第 1 章 人工智能 50 年</b> .....	1
1.1 从著名的达特茅斯会议谈起 .....	2
1.1.1 达特茅斯会议上不同学科的碰撞 .....	2
1.1.2 发展中的风风雨雨 .....	3
1.2 与时俱进的研究目标 .....	5
1.2.1 图灵测试 .....	5
1.2.2 机器定理证明 .....	6
1.2.3 卡斯帕罗夫与“深蓝”的对决 .....	7
1.2.4 会思维的机器 .....	8
1.2.5 人工生命 .....	9
1.3 人工智能 50 年主要成就 .....	12
1.3.1 模式识别 .....	12
1.3.2 知识工程 .....	14
1.3.3 机器人 .....	16
1.4 信息时代推动人工智能大发展 .....	18
1.4.1 人工智能技术对全社会的渗透 .....	18
1.4.2 从万维网到智能网格 .....	19
1.4.3 从数据到知识 .....	20
1.5 脑科学、认知科学和人工智能的大交叉趋势 .....	21
1.5.1 脑科学对人工智能的影响 .....	21
1.5.2 认知科学研究对人工智能的影响 .....	24

1.5.3 学科交叉孕育人工智能大突破 .....	25
参考文献 .....	26
<b>第2章 人工智能研究的主要方法 .....</b>	<b>29</b>
2.1 符号主义方法 .....	30
2.1.1 符号主义的产生和发展 .....	30
2.1.2 谓词演算和归结原理 .....	34
2.1.3 基于逻辑的程序设计语言 .....	36
2.1.4 专家系统 .....	39
2.2 联结主义方法 .....	41
2.2.1 联结主义的产生和发展 .....	41
2.2.2 联结主义的策略和技术特征 .....	43
2.2.3 Hopfield 神经网络模型 .....	46
2.2.4 反向传播神经网络模型 .....	47
2.3 行为主义方法 .....	49
2.3.1 行为主义的产生和发展 .....	49
2.3.2 机器人控制 .....	50
2.3.3 智能控制 .....	51
2.4 对人工智能研究方法的思考 .....	53
参考文献 .....	54
<b>第3章 论知识的不确定性 .....</b>	<b>57</b>
3.1 随机性 .....	57
3.1.1 随机性的客观性 .....	57
3.1.2 随机性的魅力 .....	61
3.2 模糊性 .....	63
3.2.1 模糊性的客观性 .....	64
3.2.2 模糊性的魅力 .....	66
3.3 自然语言中的不确定性 .....	68
3.3.1 语言文字是人类知识的载体 .....	68

3.3.2	语言中的不确定性 .....	70
3.4	常识知识的不确定性 .....	73
3.4.1	关于常识的共识 .....	73
3.4.2	常识知识的相对性 .....	75
3.5	知识的其它不确定性 .....	76
3.5.1	知识的不完备性 .....	77
3.5.2	知识的不协调性 .....	78
3.5.3	知识的非恒常性 .....	79
	参考文献 .....	81
<b>第4章</b>	<b>不确定性人工智能的数学基础 .....</b>	<b>83</b>
4.1	概率理论 .....	83
4.1.1	贝叶斯定理 .....	84
4.1.2	概率分布函数 .....	89
4.1.3	正态分布 .....	91
4.1.4	大数定理和中心极限定理 .....	94
4.1.5	幂律分布 .....	97
4.1.6	熵 .....	99
4.2	模糊集理论 .....	101
4.2.1	隶属度与隶属函数 .....	101
4.2.2	分解定理与扩张定理 .....	104
4.2.3	模糊关系 .....	105
4.2.4	可能性测度 .....	107
4.3	粗糙集理论 .....	108
4.3.1	不精确范畴与粗糙集 .....	109
4.3.2	粗糙集的特征 .....	112
4.3.3	粗糙关系 .....	114
4.4	混沌与分形 .....	117
4.4.1	混沌的基本特征 .....	118

4.4.2	混沌吸引子 .....	121
4.4.3	混沌的几何特性与分形 .....	123
4.5	核函数和主曲线 .....	124
4.5.1	核函数 .....	124
4.5.2	支持向量机 .....	127
4.5.3	主曲线 .....	130
	参考文献 .....	135
<b>第5章</b>	<b>定性定量转换模型——云模型</b> .....	<b>137</b>
5.1	不确定性人工智能研究的切入点 .....	137
5.1.1	研究人类智能的多个切入点 .....	137
5.1.2	抓住自然语言中的概念不放 .....	140
5.1.3	概念中随机性和模糊性的关联性 .....	141
5.2	用云模型表示概念的不确定性 .....	143
5.2.1	云和云滴 .....	143
5.2.2	云的数字特征 .....	145
5.2.3	云模型的类型 .....	146
5.3	正态云发生器 .....	148
5.3.1	正向云发生器 .....	149
5.3.2	云滴对概念的贡献 .....	154
5.3.3	用正态云模型理解农历节气 .....	155
5.3.4	逆向云发生器 .....	157
5.3.5	逆向云发生器误差分析 .....	164
5.3.6	进一步理解正态云模型 .....	166
5.4	正态云的数学性质 .....	171
5.4.1	云滴分布的统计分析 .....	171
5.4.2	云滴确定度的统计分析 .....	172
5.4.3	正态云的期望曲线 .....	175
5.5	论正态云的普适性 .....	178

5.5.1	正态分布的普适性 .....	178
5.5.2	钟形隶属函数的普适性 .....	179
5.5.3	正态云的普遍意义 .....	182
	参考文献 .....	185
<b>第 6 章</b>	<b>不确定性知识发现的物理学方法 .....</b>	<b>187</b>
6.1	对人类自身的认知可借鉴对客观世界的认知 .....	187
6.1.1	借鉴物理学中的原子模型表示概念 .....	188
6.1.2	借鉴物理学中的场描述客体间的相互作用 .....	189
6.1.3	借鉴物理学中的粒度描述知识的层次结构 .....	191
6.2	数据场 .....	193
6.2.1	从物理场到数据场 .....	193
6.2.2	数据的势场和力场 .....	197
6.2.3	场函数中影响因子的优选 .....	207
6.2.4	数据场与形象思维模拟 .....	212
6.3	概念层次的不确定性 .....	217
6.3.1	连续数据离散化 .....	218
6.3.2	虚拟泛概念树 .....	223
6.3.3	跃升策略和算法 .....	224
6.4	知识发现状态空间 .....	234
6.4.1	三种状态空间 .....	235
6.4.2	状态空间的转换 .....	236
6.4.3	发现状态空间转换的主要操作 .....	238
	参考文献 .....	240
<b>第 7 章</b>	<b>发现不确定性知识的数据挖掘方法 .....</b>	<b>242</b>
7.1	数据挖掘中的不确定性 .....	242
7.1.1	数据挖掘和知识发现 .....	242
7.1.2	挖掘过程中的不确定性 .....	244
7.1.3	发现知识的不确定性 .....	246

7.2	不确定性分类和聚类 .....	247
7.2.1	云分类方法 .....	249
7.2.2	基于数据场的聚类 .....	258
7.2.3	基于数据场的离群点检测和离群知识发现 .....	285
7.3	不确定性关联知识的发现 .....	291
7.3.1	对传统关联规则的再思考 .....	292
7.3.2	基于云的关联知识挖掘 .....	295
7.4	时序数据挖掘与预测 .....	302
7.4.1	基于云的时间序列挖掘 .....	305
7.4.2	股票数据预测 .....	307
	参考文献 .....	322
<b>第 8 章</b>	<b>定性知识的推理与控制 .....</b>	<b>327</b>
8.1	用云构造定性规则 .....	327
8.1.1	前件云发生器和后件云发生器 .....	328
8.1.2	规则发生器 .....	330
8.1.3	从精确案例到规则生成 .....	334
8.2	定性控制机理 .....	335
8.2.1	模糊控制、概率控制与云控制的机理及比较 .....	335
8.2.2	Mamdani 模糊控制方法的理论解释 .....	345
8.3	倒立摆——不确定性智能控制示例 .....	347
8.3.1	倒立摆及其控制 .....	348
8.3.2	一级、二级倒立摆的定性控制机理 .....	349
8.3.3	三级倒立摆的云控制策略 .....	352
8.3.4	倒立摆的动平衡模式 .....	361
	参考文献 .....	368
<b>第 9 章</b>	<b>不确定性人工智能研究展望 .....</b>	<b>371</b>
9.1	云运算与词计算 .....	372
9.2	认知物理学方向 .....	378

9.2.1	云模型的拓广 .....	378
9.2.2	动态数据场 .....	383
9.3	具有“小世界”和“无尺度”特性的复杂网络 .....	386
9.3.1	复杂网络不确定性中的规律性 .....	388
9.3.2	无尺度网络的模拟 .....	391
9.3.3	用数据场研究工程中复杂网络问题 .....	397
9.4	不确定性人工智能任重道远 .....	398
9.4.1	认知物理学方法的局限性 .....	398
9.4.2	从丹尼尔获诺贝尔经济学奖谈开去 .....	399
	参考文献 .....	401
	<b>基金资助目录</b> .....	<b>403</b>
	<b>相关专利</b> .....	<b>404</b>
	<b>索引</b> .....	<b>405</b>
	<b>后记</b> .....	<b>411</b>



# Contents

<b>Chapter 1 The 50 – year History of Artificial Intelligence</b> .....	1
1.1 Depart from Dartmouth Conference .....	2
1.1.1 The Communications between Different Discipline .....	2
1.1.2 Developing Process .....	3
1.2 The Goals as Time Goes on .....	5
1.2.1 Turing Test .....	5
1.2.2 Machine Theorem Prove .....	6
1.2.3 Rivalry between Kasparov and Deep Blue .....	7
1.2.4 Thinking Machine .....	8
1.2.5 Artificial Life .....	9
1.3 AI Achievements in 50 Years .....	12
1.3.1 Pattern Recognition .....	12
1.3.2 Knowledge Engineering .....	14
1.3.3 Robot .....	16
1.4 Great Development of AI Promoted in the Information Age .....	18
1.4.1 Infiltration of AI Technology into the Whole Society .....	18
1.4.2 From World Wide Web to Intelligent Grid .....	19
1.4.3 From Data to Knowledge .....	20