

“十二五”国家重点图书出版规划项目



国防科技图书出版基金

不确定性人工智能

(第2版)

ARTIFICIAL INTELLIGENCE WITH UNCERTAINTY
SECOND EDITION

李德毅 杜鹁 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press



国防科技图书出版基金

李德毅 杜鹞 著

不确定性人工智能

Artificial Intelligence (第2版)
with Uncertainty

(Second Edition)



国防工业出版社

National Defense Industry Press

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

不确定性人工智能/李德毅,杜鹞著.—2版.—北京:
国防工业出版社,2014.5

ISBN 978-7-118-09081-9

I. ①不... II. ①李...②杜... III. ①人工智能
IV. ①TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 226268 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 100048)

三河市腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×960 1/16 插页 10 印张 22 $\frac{3}{4}$ 字数 258 千字
2014 年 5 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 126.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

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!

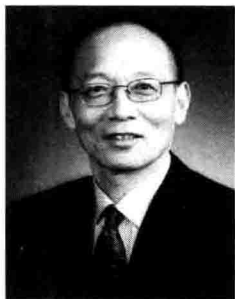
国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金 第六届评审委员会组成人员

主任委员	王 峰			
副主任委员	宋家树	蔡 镭	杨崇新	
秘 书 长	杨崇新			
副 秘 书 长	邢海鹰	贺 明		
委 员	于景元	才鸿年	马伟明	王小谟
(按姓氏笔画排序)	甘茂治	甘晓华	卢秉恒	邬江兴
	刘世参	芮筱亭	李言荣	李德仁
	李德毅	杨 伟	肖志力	吴有生
	吴宏鑫	何新贵	张信威	陈良惠
	陈冀胜	周一宇	赵万生	赵凤起
	崔尔杰	韩祖南	傅惠民	魏炳波

作者简介



李德毅

1944 年生于江苏泰县,1967 年毕业于南京工学院,1983 年获英国爱丁堡 Heriot - Watt 大学博士学位,1999 年当选中国工程院院士,2004 年当选国际欧亚科学院院士。现任中国人工智能学会理事长,中国指挥和控制学会名誉理事长,国家信息化专家咨询委员会委员,中国电子学会云计算专家委员会主任委员,清华大学、国防大学兼职教授。主要研究方向为计算机工程与人工智能。



杜鹞

1971 年生于陕西武功县,1993 年毕业于解放军通信工程学院,2000 年获解放军理工大学军事通信学博士学位,2005 年获国防大学军事战略学硕士学位。先后被评为总参优秀中青年专家,军队高层次科技创新人才工程拔尖人才培养对象,主要研究方向为网络管理与人工智能。

初版前言

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,在他的遗作中断言:“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

再版前言

《不确定性人工智能》第1版问世已经9年,重读9年前写下的文字,依然亲切。再版的主要原因,是不确定性人工智能基础理论研究的深化,是在互联网环境下导致云计算、大数据、物联网和智慧地球的共识,是在社会计算中通过分享和交互涌现出的群体智能。这些都告诉我们,历经半个多世纪,曾经的图灵计算已经扩展到互联网计算的新时代,用确定性数学和符号逻辑方法模拟人脑思维活动的人工智能学,已经步入到一个不确定性人工智能的新时代。

语言是人类思维的载体,也是人类智能的积淀。我们认为,应该把自然语言作为不确定性人工智能研究的切入点。语言值表示的定性概念,是人类思维的基础,既具有随机性,也具有模糊性。对人们曾经用隶属度表示的模糊集合和二型模糊集合,我们做出概率和统计的解释,发现模糊性对随机性的依赖性,隶属度不是一个精确值,具有不确定性,不是一个主观值,具有客观性。对此,书中表述得更清楚了。

云模型,尤其是高斯云模型,通过期望、熵和超熵这3个数字特征,反映人类认知过程中概念的不确定性。由大量云滴构成的高斯云,源于高斯分布又不同于高斯分布,通过超熵这个“妖”,可获得一系列有趣而又有意义的统计性质。通过增加阶数形成的高阶云模型,随着阶数的不同,形成的云滴群甚至可以在高斯分布和幂律分布之间游走。对此,书中表述得更清楚了。

物理改变世界,原子模型和场是物理学对客观世界的认知,我们

将其引入到对主观世界的认知中来。人们常把大脑称为小宇宙,说的是宇宙有多么广阔,大脑就有多么丰富。人脑就是自然和社会的映射。我们用云模型、云变换、云推理、云控制、数据场、拓扑势等作为重要支撑,形成认知计算的物理学方法,控制三级倒立摆使其呈现各种各样的动平衡姿态,解释音乐厅自发掌声的涌现机理,研制轮式机器人并模拟不同人的驾驶行为,开发云计算环境下可变粒度的个性化挖掘引擎等。通过这些生动的案例,我们对不确定性人工智能的认识更清楚了。

本书已在清华大学、北京航空航天大学、武汉大学、北京邮电大学、解放军理工大学等多所大学作为研究生教材使用,完成了6个学年300余名研究生的教学,并配有教学课件、教学网站、课程实践库和教学资料库,在教学过程中一次次的不同思想碰撞,至今难忘。

科学植根于讨论,无论作者还是读者,无论教还是学,都意味着交流,期待着有更多的人加入到不确定性人工智能的探索中来,共同感受不确定性人工智能的无限魅力!

作 者

于2014年3月27日

目 录

第 1 章 面向不确定性的人工智能	1
1.1 人类智能的不确定性	2
1.1.1 不确定性的魅力	2
1.1.2 熵的世界	7
1.2 人工智能 50 年	10
1.2.1 从著名的达特茅斯会议谈起	11
1.2.2 与时俱进的研究目标	13
1.2.3 人工智能 50 年主要成就	19
1.3 人工智能研究的主要方法	23
1.3.1 符号主义方法	23
1.3.2 联结主义方法	27
1.3.3 行为主义方法	29
1.4 人工智能的学科大交叉趋势	31
1.4.1 脑科学与人工智能	31
1.4.2 认知科学与人工智能	34
1.4.3 网络科学与人工智能	35
1.4.4 学科交叉孕育人工智能大突破	38
第 2 章 定性定量转换的认知模型——云模型	40
2.1 不确定性人工智能研究的切入点	40
2.1.1 人类智能研究的多个切入点	40

2.1.2	抓住自然语言中的概念不放	41
2.1.3	概念中的随机性和模糊性	42
2.2	用云模型表示概念的不确定性	44
2.2.1	云和云滴	44
2.2.2	云的数字特征	46
2.2.3	云模型的种类	48
2.3	正向高斯云算法	50
2.3.1	算法描述	50
2.3.2	云滴对概念的贡献	53
2.3.3	用高斯云理解农历节气	55
2.4	高斯云的数学性质	56
2.4.1	云滴分布的统计分析	57
2.4.2	云滴确定度分布的统计分析	60
2.4.3	高斯云的期望曲线	63
2.4.4	从云到雾	65
2.5	逆向高斯云算法	68
2.5.1	算法描述	68
2.5.2	逆向高斯云的参数估计与误差分析	72
2.6	进一步理解云模型	75
2.6.1	射击评判	75
2.6.2	带有不确定性的分形	79
2.7	高斯云的普适性	84
2.7.1	高斯分布的普适性	84
2.7.2	钟形隶属函数的普遍性	86
2.7.3	高斯云的普遍意义	88
第3章	云变换	92
3.1	粒计算中的基本术语	93

3.1.1	尺度、层次和粒度	93
3.1.2	概念树和泛概念树	95
3.2	高斯变换	97
3.2.1	高斯变换参数估计	98
3.2.2	高斯变换算法	100
3.3	高斯云变换	103
3.3.1	从高斯变换到高斯云变换	104
3.3.2	启发式高斯云变换	106
3.3.3	自适应高斯云变换	110
3.3.4	多维高斯云变换	117
3.4	高斯云变换用于图像分割	118
3.4.1	图像中的过渡区发现	118
3.4.2	图像中差异性目标提取	123
第 4 章	数据场与拓扑势	132
4.1	数据场	132
4.1.1	用场描述数据对象间的相互作用	132
4.1.2	从物理场到数据场	135
4.1.3	数据的势场和力场	139
4.1.4	场函数中影响因子的选取	149
4.2	基于数据场的聚类	152
4.2.1	分类与聚类中的不确定性	152
4.2.2	用数据场实现动态聚类	153
4.2.3	用数据场实现人脸图像的表情聚类	160
4.3	基于拓扑势的复杂网络研究	169
4.3.1	从数据场到拓扑势	170
4.3.2	用拓扑势发现网络中重要节点	171

4.3.3	用拓扑势发现网络社区	178
4.3.4	用拓扑势发现维基百科中的热词条	183
第5章	云推理与云控制	190
5.1	云推理	190
5.1.1	云模型构造定性规则	191
5.1.2	规则集生成	197
5.2	云控制	198
5.2.1	云控制的机理	198
5.2.2	云控制对模糊控制的理论解释	209
5.3	倒立摆中的不确定性控制	210
5.3.1	倒立摆及其控制	211
5.3.2	一级、二级倒立摆的定性控制机理	212
5.3.3	三级倒立摆的云控制策略	215
5.3.4	倒立摆的动平衡模式	226
5.4	智能驾驶中的不确定性控制	233
5.4.1	汽车的智能驾驶	234
5.4.2	基于智能车辆的驾驶行为模拟	243
第6章	用认知物理学方法研究群体智能	247
6.1	相互作用是群体智能的重要成因	247
6.1.1	群体智能	248
6.1.2	涌现是群体行为的一种表现形态	250
6.2	云模型和数据场在群体智能研究中的应用	252
6.2.1	用云模型表示个体行为的离散性	253
6.2.2	用数据场描述个体间的相互作用	254
6.3	典型案例：“掌声响起来”	255

6.3.1	用云模型表示人的鼓掌行为	256
6.3.2	用数据场反映掌声的相互传播	259
6.3.3	“掌声响起来”的计算模型	260
6.3.4	实验平台	263
6.3.5	涌现的多样性分析	267
6.3.6	带引导的掌声同步	271
第7章	云计算推动不确定性人工智能大发展	275
7.1	从云模型看模糊集合的贡献与局限	275
7.1.1	模糊逻辑似是而非的争论	275
7.1.2	模糊性对随机性的依赖性	278
7.1.3	从模糊推理到不确定性推理	281
7.2	从图灵计算到云计算	283
7.2.1	超出图灵机的云计算	286
7.2.2	云计算与云模型	291
7.2.3	游走在高斯和幂律分布之间的云模型	294
7.3	大数据呼唤不确定性人工智能	300
7.3.1	从数据库到大数据	300
7.3.2	网络交互和群体智能	303
7.4	不确定性人工智能展望	308
参考文献	.....	311
基金资助目录	.....	317
相关专利	.....	319
索引	.....	321
再版后记	.....	324
附录 不确定性人工智能理论与应用学术沙龙——对话实录	...	325