

· 智 · 能 · 科 · 学 · 技 · 术 · 应 · 用 · 丛 · 书 ·

群体智能预测 与优化

Swarm Intelligence
Prediction and Optimization

施彦 著



國防工業出版社

National Defense Industry Press



科学技术应用丛书



北京工商大学学术专著出版资助项目

群体智能预测与优化

Swarm Intelligence Prediction and Optimization

施彦◎著

国防工业出版社

<http://www.ndip.cn>

内 容 简 介

本书阐述和分析生物群体、人类社会在形成、发展过程中,所呈现的协调配合、相互学习、协同决策、分工协作等现象,分析了“人工群体智能”的研究视角,凝炼了“人工群体智能”的关键要素,构建了学习意义下的“广义群体智能”的框架,给出了群体建模预测与优化的新方法,论述了在物流、化工等领域的预测与优化的应用实例。

本书可为群体智能研究者提供一定的参考。

图书在版编目(CIP)数据

群体智能预测与优化/施彦著. —北京:国防工业出版社,2012.8

(智能科学技术应用丛书)

ISBN 978-7-118-08302-6

I. ①群… II. ①施… III. ①人工智能—研究 IV.
①TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 174997 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)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 12½ 字数 213 千字

2012 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 30.00 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

《智能科学技术应用丛书》编委会

名誉主编:吴文俊

主 编:涂序彦

副 主 编:钟义信 史忠植 何华灿 何新贵 李德毅 韩力群
黄河燕(常务) 陈 洁

秘 书 长:黄河燕

编 委:(按姓氏汉语拼音排序)

蔡庆生(中国科技大学)

蔡 文(广州工业大学)

蔡自兴(中南大学)

曹少中(北京印刷学院)

曹元大(北京理工大学)

陈 杰(北京理工大学)

陈 洁(国防工业出版社)

杜军平(北京邮电大学)

何华灿(西北工业大学)

何新贵(北京大学)

何 清(中科院计算所)

洪炳熔(哈尔滨工业大学)

韩力群(北京工商大学)

黄河燕(北京理工大学)

黄兴汉(华中科技大学)

贾英氏(北京航空航天大学)

焦李成(西安电子科技大学)

李德毅(北京邮电大学)

李祖枢(重庆大学)

刘 宏(北京大学)

刘 民(清华大学)

刘增良(国防大学)

马少平(清华大学)

彭 岩(首都师范大学)

秦世引(北京航空航天大学)

邱玉辉(西南师范大学)

阮秋琦(北京交通大学)

阮晓钢(北京工业大学)

史忠植(中科院计算所)

孙增圻(清华大学)

涂序彦(北京科技大学)

谭 民(中科院自动化所)

谭铁牛(中国科学院)

吴文俊(中科院数学所)

王国胤(重庆邮电大学)

王家钦(清华大学)

王 龙(北京大学)

王 普(北京工业大学)

王万森(首都师范大学)

王志良(北京科技大学)

杨春燕(广州工业大学)

杨放春(北京邮电大学)

杨国为(南昌航空航天大学)

杨义先(北京邮电大学)

于洪珍(中国矿业大学)

钟义信(北京邮电大学)

曾广平(北京科技大学)

张长水(清华大学)

张琴珠(华东师范大学)

张永光(中科院系统所)

赵沁平(北京航空航天大学)

周志华(南京大学)

庄越挺(浙江大学)

丛 书 序

智能科学技术(Intelligence Science & Technology, IST)是关于广义智能的理论、方法和应用的综合性科学技术,是计算机科学技术、信息科学技术、生命科学计算、电子科学技术等诸多学科大跨度交叉的前沿领域,其研究成果已广泛应用于各种高新技术领域,在我国的经济发展和现代化国防建设中发挥着巨大的作用。智能化已成为当前新技术、新产品的发展方向与重要标志。

广义智能意味着自然智能(如:人的智能、其他生物智能)、人工智能(包括:机器智能、智能机器,如:专家系统、人工神经网络、智能机器人)、集成智能(如:人的智能与机器智能相结合的人机集成智能)、协同智能(个体智能协同共生的群体智能)、分布智能(各种分布式智能系统的分布智能)及网络智能(局域网、广域网、互联网的网络智能)。

自“人工智能”学科诞生的 50 多年来,在理论方法研究和应用技术开发方面都取得了重大进展。智能科学技术可广泛应用于国防现代化建设、国民经济建设、国家行政管理各部门,工业、农业、航空、航天、交通、运输、能源、环保、通信、建筑等各行业,医疗、卫生、保健、保安、商业、服务、家电、玩具、文化、娱乐等人民生活各方面。

智能化是当前和今后各行各业的新理论、新方法、新技术、新产品的发展方向、开发策略及显著标志。如:广义智能学、泛逻辑学、机器知行学、可拓学、智能系统理论;智能决策、智能推理、智能识别、智能优化、智能指挥、智能管理、智能调度方法;智能控制、智能调节、智能操作、智能检测、智能预测、智能通信、智能仿真技术;智能仪表、智能

装置、智能设备、智能网络、智能家电、智能武器、智能玩具、智能计算机、智能机器人、智能自动化产品等。

为了适时总结、交流、宣传、推广智能科学技术的应用研究开发成果,中国人工智能学会与国防工业出版社合作组织、编辑出版《智能科学技术应用丛书》。

我们相信,有广大智能科学技术工作者的积极参与、大力支持,以及编委会同志们的共同努力,《智能科学技术应用丛书》将为发展我国智能科学技术应用事业,建设科技创新、经济发达、社会和谐的国家,做出应有的贡献。

祝《智能科学技术应用丛书》出版,特赋贺诗一首:

智能科技应用广
应用系统智能强
广义智能硕果多
智能应用效益创

中国人工智能学会荣誉理事长

序言

“群体智能”利用群体之间的通信、学习、竞争与合作等多种方式,发挥群体优势解决问题,是广义人工智能研究热点和前沿领域。

北京工商大学施彦博士撰写《群体智能预测与优化》专著,分析了生物群体与人类社会在形成发展过程中,所呈现的协调配合、相互学习、协同决策、分工协作等现象;提出了“人工群体智能”构建的关键要素,结合当前建模预测和优化的神经网络集成、粒子群优化算法,构建了学习意义下“广义群体智能”的框架;给出了以自学习、互学习为基础的群体建模预测与优化的新方法;提供了在物流、化工等领域的预测与优化方面的应用实例。

《群体智能预测与优化》专著内容新颖,结构合理,行文流畅,实例丰富,是一本兼有创新性和实用性的好书,将入选中国人工智能学会“智能科学技术应用丛书”系列,由国防工业出版社出版。

《群体智能预测与优化》专著的撰写与出版,将有助于人工群体智能的发展与普及,为我国智能科学技术的发展与普及作出贡献。

为了表示祝贺,赋诗一首:

施彦博士新专著
内容新颖实例富
群体协同智能高
预测优化谱新曲

中国人工智能学会荣誉理事长

涂序彦

2012年6月8日

前言

群体智能的研究,可分为两类:

一是“群体交互智能”:通过个体之间的交互、通信,个体对环境的响应,群体自组织完成复杂的任务。

这是群体智能研究的热点,以蚁群、鸟群等为生物基础所演化出的著名的蚁群和粒子群优化算法为代表。标准的蚁群优化算法、粒子群优化算法侧重个体之间的交互,通过不断交互、调整对环境的适应,找到问题更好的解,主要用于各种优化问题。

二是“群体协同智能”:通过个体之间协商、协调,解决不同意见的矛盾,协同产生对群体有益的决策,进行群体的协作。

这是群体智能研究的重点与动向,如分布式人工智能的多智能体 Multi-Agent、移动智能体 Mobile-Agent 系统。这种群体智能也可在生物群体中找到实例,如:蜂群筑巢地点的选择,通过不同侦察的结果,共同决策出最佳的筑巢位置;在人类社会中,不同的人给出不同的方案,通过投票选择最佳方案,或通过协商,比较多种方案,选出一个最佳方案。

受生物群体协同智能启发,集成学习是机器学习的研究热点,将多个子学习器的结果进行综合集成,可获得比最佳子学习器更好的结果,著名算法有 Boosting 算法、Bagging 算法等,其中,子学习器可以是神经网络、分类树等。

上述两类“群体智能”,反映出“群体智能”的两种不同思路,都可以利用、借鉴的生物群体智能机理。

当我们要为解决实际应用问题而设计算法时,可以同时借鉴上述两种思路。本书给出的群体智能预测和优化方法,主要研究思路也源于此。

在利用群体智能解决建模、预测和优化问题时,都将其纳入个体在环境中学习的统一过程,既存在个体之间的相互学习、个体对环境的影响和适应,也存在多个体的协同决策。

本书主要内容如下:

(1) 在阐述不同生物群体智能的基础上,阐述了群体智能研究的主要视角、

研究方法和共性要素。在分析自学习和互学习对个体以及群体影响的基础上,建立了学习意义下的“广义群体智能”框架,包括:个体的自我发展、个体之间的学习、多个体共同决策、个体对环境的适应性、个体对环境施加的影响等,以及它们之间的相互联系。

(2) 在学习意义下的“广义群体智能”框架下,研究了群体智能算法的设计方法与实现技术。包括:采用何种数学工具、计算技术,实现框架中的各种模块,给出了群体智能预测与优化有效算法的实现途径。

(3) 给出了基于群体智能的预测和优化方法:群体智能预测的神经网络集成新方法和群体智能优化的粒子群优化新算法。

实验结果表明:建模预测的神经网络集成方法,在数据存在较强的噪声时,可以明显提高个体的预测能力;在群体智能优化粒子群优化算法中,加入了集成学习,即个体的共同决策,可以提高优化的效果。

应用结果表明:在物流、化工等领域的预测与优化的应用实例效果,证实了群体智能预测的神经网络集成方法、群体智能优化的粒子群优化算法的有效性、适用性。

全书共分为9章。前3章通过对生物群体智能的研究提出“广义群体智能”的框架,其中第1章绪论部分介绍了群体智能、智能预测和优化问题,以及主要的研究方法;第2章说明了生物学和群体智能的关系以及生物群体智能对群体智能研究带来的启示;第3章在分析群体智能与进化、学习关系的基础上,给出学习意义下的广义群体框架,阐述了群体智能的研究算法的构建;第4章至第6章说明群体智能如何处理预测问题,其中第4章概述了神经网络集成,第5章提出了神经网络集成的改进方法,第6章给出了神经网络集成的应用实例;第7章和第8章给出了群体智能优化算法的改进,其中第7章概述了粒子群优化算法,第8章提出了基于集成学习的粒子群优化算法和应用实例;第9章展望部分介绍了基于多智体和软件人联盟的群体协作,说明更高层次的、更复杂的群体在解决问题时所采取的相关策略。

本书撰写、出版过程中,得到了北京工商大学计算机与信息工程学院、国防工业出版社的关心与支持,并得到了中国人工智能学会荣誉理事长涂序彦教授的指导和帮助,特此表示衷心感谢!

施彦

2012年6月

致 谢

在本书即将出版之时,回顾过去的点点滴滴,感激之情萦绕心间。

首先要特别感谢人工智能学会名誉理事长涂序彦教授对本书的支持和帮助。他作为一名睿智的长者,给我提了许多中肯的意见,提供了多智能体系统和软件的相关资料,并亲自为本书作序。

感谢涂教授的夫人汪蔚霄老师,她对本书的写作一直非常关心,有如春风暖心。

感谢我的导师黄聪明教授和侯朝桢教授对我博士学业的指导,他们的谆谆教导犹在耳边,鼓励我在写书的道路上前行。

感谢我的同事韩力群教授,她是我工作上的导师,感谢她对我的指导和帮助。

感谢我的爱人王沁博士,作为一名挑剔的读者,他经常提出批评意见,正是这些意见提高了本书的可读性;感谢他对本书文字的润色。

感谢我的家人对我工作的支持,是他们帮助抚养我年幼的孩子,成为我最强大的后盾。

感谢国防工业出版社各位老师细致认真的工作,特别感谢陈洁老师,她的热情和负责深深地感染了我。

感谢北京工商大学对专著出版的资助以及计算机工程与信息工程学院的各位同仁,感谢你们的鼓励和支持。

目录

第1章 绪论	1
1.1 群体智能的基本概念	1
1.2 群体智能面临的两类问题	2
1.2.1 预测模型	3
1.2.2 优化问题	4
1.3 群体智能解决问题的途径	5
1.3.1 群体预测和个体预测的区别与联系	5
1.3.2 群体优化和个体优化的区别与联系	7
1.4 群体智能的一般框架	7
1.4.1 群体智能遵循的原则和特点	7
1.4.2 群体智能的一般框架	8
1.5 群体智能的研究途径	10
1.5.1 研究视角	10
1.5.2 研究方法	11
第2章 生物群体与群体智能	13
2.1 生物学与群体智能	13
2.1.1 生物学的几个分支	13
2.1.2 生物学对人工群体智能的启示	14
2.2 典型的生物群体	17
2.2.1 集群微生物和集群无脊椎动物	18
2.2.2 社会昆虫	21
2.2.3 非人类的脊椎动物	23
2.2.4 人类社会	25
2.2.5 其他	27
2.2.6 社会与智能	28

2.3	生物群体的社会性	28
2.3.1	群体组织结构	29
2.3.2	个体间的交互	30
2.3.3	群体发展动力	33
2.3.4	小结	34
2.4	群体智能的共性要素	34
2.4.1	时空环境	34
2.4.2	组织结构	35
2.4.3	通信与语言	37
2.4.4	竞争与合作	38
2.4.5	记忆与学习	38
2.4.6	决策与智慧	39
第3章	学习意义下的广义群体智能框架	40
3.1	群体智能与进化	40
3.2	群体智能与学习	41
3.3	学习意义下的广义群体智能框架	42
3.4	构建有效的群体智能算法	45
3.4.1	群体智能系统设计的一般原理	45
3.4.2	构建有效的群体智能预测算法	46
3.4.3	构建有效的群体智能优化算法	48
第4章	神经网络集成概述	50
4.1	集成学习概述	50
4.1.1	集成学习的概念和核心思想	50
4.1.2	个体学习器与集成的性能指标	51
4.2	集成学习方法中的群体智能思想	54
4.2.1	Bagging 方法	54
4.2.2	Boosting 方法	55
4.2.3	Stacking 方法	56
4.2.4	选择性集成	57

4.2.5	构造型集成	58
4.3	神经网络集成概述	59
4.3.1	神经网络集成的提出	59
4.3.2	集成中个体网络的生成方法	60
4.3.3	集成的结论生成方法	61
4.4	建立预测模型时存在的问题	61
第5章	神经网络集成改进方法研究	63
5.1	群体神经网络中的选择	63
5.1.1	选择的准则	63
5.1.2	选择的方法及存在的问题	64
5.1.3	基于改进贪心法的个体网络选择方法	65
5.1.4	仿真实例	68
5.1.5	小结	72
5.2	群体神经网络的多层结构	73
5.2.1	选择性神经网络二次集成概述	73
5.2.2	两次集成中选择方法的匹配	74
5.2.3	基于 GF 方法的神经网络二次集成的实现	75
5.2.4	仿真实验	76
5.2.5	小结	79
5.3	群体神经网络的结论决策	80
5.3.1	常用结论生成方法及存在的问题	80
5.3.2	基于改进的粒子群优化(PSO)算法的结论生成方法	83
5.3.3	基于改进 PSO 算法的仿真实验研究	92
5.3.4	基于改进 PSO 算法的结论生成方法小结	96
5.4	基于混合算法的神经网络集成	96
5.4.1	GF 方法和改进 PSO 算法的结合	97
5.4.2	基于 GF 方法—改进 PSO 算法的实例仿真实验	99
5.4.3	讨论与结论	102
5.5	小结	102

第 6 章 神经网络集成应用实例	104
6.1 构效关系预测模型.....	104
6.1.1 引言	104
6.1.2 基于随机采样技术和 GFA 方法的选择性神经网络二次集成	104
6.1.3 苯乙酰胺类除草剂 QSAR 的神经网络集成模型	105
6.2 物流中心选址模型.....	108
6.2.1 引言	108
6.2.2 基于 Bootstrap 采样技术和 PSO 算法的神经网络二次集成模型	109
6.2.3 物流中心选址实例研究	109
6.3 发射药近红外光谱定量分析预测模型.....	114
6.3.1 研究的背景	114
6.3.2 发射药成分的近红外光谱分析	115
6.3.3 单个神经网络在建模中存在的问题	117
6.3.4 基于小波变换——神经网络集成的预测模型	117
6.3.5 基于改进神经网络集成的发射药近红外光谱定量分析预测模型	119
6.4 疾病诊断预测模型.....	121
6.4.1 研究的背景和意义	121
6.4.2 单个网络建立诊断模型时存在的问题	122
6.4.3 基于神经网络集成的疾病诊断	123
6.4.4 改进的神经网络集成方法在乳腺癌诊断中的应用	123
第 7 章 粒子群优化算法概述	125
7.1 基本 PSO 算法	125
7.2 性能评价与“探索—开发”的平衡	126
7.2.1 性能评价	126
7.2.2 “探索—开发”的平衡	127
7.3 群体智能框架下的 PSO 算法分析与改进	128

7.3.1	社会结构和通信方式	128
7.3.2	学习与记忆	130
7.3.3	群体策略行动	133
第8章	基于集成学习的粒子群算法	134
8.1	粒子个体的抽象	134
8.2	集成学习的基本应用	135
8.2.1	个体的集成学习	135
8.2.2	算法测试环境	136
8.3	粒子级上的集成混合算法	138
8.3.1	基于粒子级上的集成方法 EPSO - P	138
8.3.2	阶段性的 EPSO _{Tc} - P	141
8.4	维度级上的集成	145
8.4.1	基于维度级上的集成方法 EPSO - D	145
8.4.2	子种群策略	148
8.4.3	随机性集成	150
8.4.4	扩展引导者的自适应集成	152
8.4.5	基于趋势的混合学习	161
第9章	基于多智体和多软件人系统协调的展望	168
9.1	多智体的信息结构和协调策略	168
9.1.1	多智体的信息结构	168
9.1.2	多智体系统的协调策略	169
9.2	“多软件人系统”中的协调机制	170
9.2.1	“软件人”自律协调机制	170
9.2.2	“软件人”群的协商与协作	171
9.3	群体智能发展展望	172
参考文献		174
后记		184
致谢		185

第1章

绪 论

自人工智能 1956 年诞生以来, AI 研究的重点在于模仿或复制人脑功能, 构建具有智能行为的智能体, 它们能够或者看起来能够独立思考和推理, 自主学习和解题, 具备意识和感情, 在某种程度上甚至超越人脑功能。研究的客体是人类——有史以来智能最高的物种和人脑——迄今为止最为神秘的有机智能实体, 围绕感知、建模、规划和行动的序列循环研究它们的机理、结构和行为。

如果说一般意义上人的智能行为可以归结为三种能力: 从经验中获取知识的能力, 利用现有知识处理不确定和复杂问题的能力, 通过实践改进处理和解决问题的能力。那么我们还应注意到自然界中很多微不足道的个体, 它们不仅没有人类智能, 而且看上去应该远远低于或者没有所谓的智能, 但是足够数量的个体组成的群体却表现出来令人类叹为观止的智能行为。

以此为起点, 群体智能(贝尼和其同事在关于细胞机器人系统的相关研究中首次出现, 1999 年《群智能: 从自然到人工系统》中 Bonabeau、Dorigo 和 Theraulaz 正式提出) 成为了 AI 的一个重要分支, 其精髓是非智能或低智能的个体通过感知、通信、反馈等机制进行协同工作并以较高的质量完成既定的任务。群体智能有着广阔的研究和应用前景: 可以设想具备高智能的智能体在互联网的支撑下将获得如何规模的智能行为。本章从群体智能的基本概念、群体智能研究的主要问题着手, 说明本书研究群体智能的研究方法和研究目的。

1.1 群体智能的基本概念

群体智能(Swarm Intelligence)的概念源于对自然界中昆虫群体的观察, 群体智能可定义为群居性生物通过协作表现出的宏观智能行为特征, 其中, 群居性生物包括微生物、植物、昆虫、脊椎动物等。群体的组织形式、个体智能及其交互形式并不相同, 群体智能特征也随着个体智能的提升表现得更为复杂。

为有助于读者深入理解群体智能方法的生物学背景,以下给出群体智能和生物群体行为相关的生物学的概念:

个体(Individual)是指任何一个在身体上具有独立结构,对外界刺激发生反应、独立行使功能的有机体。

社会(Society)是指属于同一物种并以协作方式组织起来的一群个体。例如,白蚁群、蜂群等生物群体。

聚群(Aggregation)是指多于一对配偶或家系的一群同种个体聚集在同一个地方,但内部没有组织化,也没有协作活动,这样构成的群体被称为聚群。例如蝴蝶、瓢虫等生物因冬季的寒冷而聚集在一起。

集群(Colony)在严格的生物学用语中是指,通过个体的身体联合,或通过分裂成独立个体或职别,或同时通过这二者构成的一个高度整合的社会。在其他一些领域的术语中,集群可以指任何一群有机体,特别是固定在某一局部地区的一群生物,如鸟群(Bird Colony)等。

类群(Group)是指生活在一起的属于同一物种的一群个体,在这一群体中的个体之间相互作用的程度远高于同种的其他个体,这个群体称为类群。

种群(Population)是指在同一时间生活在一定的空间内的、同属于一个物种的个体的集合。许多进化算法常常使用这一名词来代表群体。

生物群落(Biotic Community 或 Biocoenosis)是指在特定时间聚集在一定地域或生境中所有生物种群的集合。

用Swarm这个术语来泛指上面有关群体的概念,一个群(Swarm)表示为一组生物代理,通过局部环境作用直接或间接通信,相互作用的结果导致分布式集体问题的求解。群体智能是指这些相互作用涌现出的问题求解行为。群体智能有时也称为集体智能(Collective Intelligence)。

1.2 群体智能面临的两类问题

本书中群体智能解决的问题包括两类,其一是预测问题,即如何从纷繁复杂的数据中寻找规律,构建出输入输出之间的关系;其二是优化问题,即寻找合适的输入参数,使得系统的输出性能达到最优。这两类问题所涉及到的系统可以用图 1.1 简要表示。

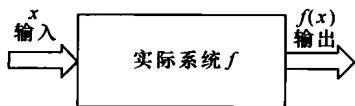


图 1.1 系统描述简图

第一类问题,可归入建立预测模型的范畴内,对观测到的输入和输出建立二者之间的映射关系,即对系统做出模拟;第