

群智能

Swarm Intelligence Introduction and Applications

[德] Christian Blum, Daniel Merkle (Eds.) 著
龙飞 译



国防工业出版社

National Defense Industry Press

群智能

Swarm Intelligence

Introduction and Applications

[德] Christian Blum, Daniel Merkle(Eds.) 著

龙飞 译



国防工业出版社

National Defense Industry Press

序 一

昆虫(如蚂蚁、蜜蜂、黄蜂、鸟群、鱼群等)群体中的个体动作和个体间的交互可以产生一种协调的行为,完成独立个体所不能完成的任务,科学家们受此启发开创了“群智能”理论,将其应用到相应的技术领域,并取得了良好的效果。群智能是一种与多代理系统的设计与应用相关的现代人工智能方法,这种系统的设计方法与传统的设计方法有本质的不同。《群智能》这本书从原理到应用都进行了介绍。

本书原著《Swarm Intelligence》具有如下特点:1. 不局限于少数几种群智能算法在某个特定领域应用的介绍,而是从宏观上介绍所有群智能算法的生物学基础,并以剩余7个章节的篇幅介绍群智能在各个不同领域的应用。这样使得群智能算法对读者的启发更有普遍性。2. 与国内同类的多数书籍不同,本书的所有应用都是基于实物。如有些群智能算法是应用于实物群机器人,有些群智能方法是直接应用于实际生产线。国内的大多数关于群智能的书籍只是介绍算法原理,其应用也多是基于抽象的数学模型,而实验部分则是使用软件仿真。3. 本书的各个章节之间没有纵向联系,有不同研究背景的人员可以依据自己的研究背景选择相应的章节阅读。4. 本书所涉及的应用,如群机器人、自组织生产和下一代网络路由协议等,都属于相关领域的前沿,并有广阔的发展前景。

综上所述,本书从原理的阐述、适用范围、应用性、组织模式、新颖性等方面都具有国内同类书籍所不具有的优点。

原著自 2008 年由 Springer 出版社出版以来,广受业界的欢迎和好评。原著总编者和作者之一的 Christian Blum 为群智能研究领域的权威。本书的 8 个章节分别由来自瑞士苏黎世联邦理工学院(ETH Zürich)和德国德累斯顿工业大学等世界著名大学的二十余位一线研究人员和著名学者合力完成。其中包括蚁群算法的发明者,群智能理论创始人之一的 Marco Dorigo。

译者自 2005 年起于清华大学攻读博士学位期间即开始使用群智能方法解决卫星网络中的多目标路由问题。对群智能方法有着较深入的了解。在 SCI 和 EI 检索的国际会议和国际期刊上发表相关文章 10 余篇。具有在德国汉堡大学交流 1 个月和在美国耶鲁大学访问学习 15 个月的经历,在笔译方面有着较强的能力。

中国工程院院士



2010 年 11 月 8 日

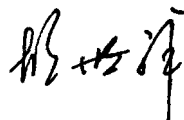
序 二

本书原著《Swarm Intelligence》包含了许多群智能算法的前沿应用,如群机器人、自组织生产和下一代网络路由协议等。与国内大多数同类书籍不同,本书并不直接介绍群智能算法,而是以一章的篇幅介绍群智能方法的生物学基础,使得读者能够对群智能的渊源有一个了解,从而更好地理解群智能方法。本书的应用案例新颖且实际,具有较高的可用性。由于本书中所有的应用都可直接或间接地应用于我国的国防领域,故推荐本书申请装备科技译著出版基金。

原著自 2008 年出版以来,在业界引起了很大反响。原著的总编者 Blum 在群智能研究界有着很高的学术地位。更难得的是,群智能理论的创始人,蚁群算法的发明者 Marco Dorigo 也加盟了本书原著的写作。这使得本书具有很高的学术价值。

本书的译者有着丰富的科研经历和较多的学术成果。曾在中科院和清华大学参与多项国家自然科学基金研究和 863 项目研究。译者发表在高质量的国际期刊和国际会议上的多篇科技论文都与群智能有关,在群智能方面有着较好的研究背景。同时,他在德国汉堡大学和美国耶鲁大学 1 年零 3 个月的访学经历更是锻炼了其笔译能力,保证了本书的翻译质量。

国际宇航科学院院士



2010 年 11 月 9 日

VII

序 三

群智能是一种由无智能或简单智能的个体通过任何形式的聚集协同而表现出来的智能方法,最初是受到社会性昆虫的集体行为的启发,由多瑞哥等于 1999 年在其著作《群智能:从自然到人工系统》中首先正式提出。此书中对群智能给出了一个不严格的定义:任何一种受昆虫群体或其他动物社会行为机制启发而设计出的算法或分布式解决问题的策略均属于群智能范畴。依据此定义,最早的群智能算法应属多瑞哥在 1991 年提出的蚁群算法。其后的蜂群算法、粒子群算法和鱼群算法等都属于此列。

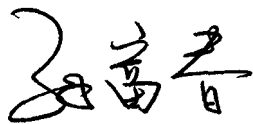
具体来说,如蚂蚁、蜜蜂、蝗虫等昆虫,个体虽然智能性较差,但是集结成群就可以完成诸如觅食、寻址、规避危险等复杂的任务。这些昆虫群体的强大能力绝对不是通过个体能力的简单叠加而获得的。非智能或低智能个体通过感知、通信、反馈等机制进行协同工作,并以较高的质量完成既定的任务,可以说是群智能方法的精髓。

群智能方法自提出以来,已经广泛应用于人工智能、通信网络和工业生产等领域。已经有大量的群智能方法应用相关的文章被发表于国内外各类学术刊物上,大量的文献已经证明了群智能方法能够解决不同领域

的许多问题。更重要的是,群智能潜在的并行性和分布式的特点为处理海量数据提供了技术保证。无论是从理论研究还是应用研究的角度分析,群智能理论及应用研究都具有重要的学术意义和现实价值。特别是由于群智能方法可用于解决许多传统方法无法解决的 NP 难问题,这为许多前瞻性研究提供了新的思路。近年来,介绍各种群智能算法的书籍也陆续出版。但是,关于群智能方法的起源以及在各个前沿领域应用的书籍目前在国内还比较少见。本书原著首次出版于 2008 年,由 Christian Blum 和 Daniel Merkle 和他们邀请的一些业内一线的科研工作者分别撰写。该书涉及群智能的由来及其生物学基础,以及群智能在机器人学、优化、网络路由、工业生产等方面的应用。所有内容都包含了作者在其研究领域的最新动态,代表了群智能算法在上述方面研究前沿的应用。

作者以大量的图表和翔实的数据,深入浅出地介绍了群智能的各方面应用,给读者以直观的感受。由于涉及的应用范围较广,此书适合以人工智能、网络路由或生物信息学为研究方向的高年级本科生、硕士生、博士生及相关方向的广大科技工作者阅读参考。需要注意的是,本书成书的八章之间并无纵向关联。读者可以对其中任意的章节进行选择性地阅读而无需关注之前的章节。

清华大学计算机系教授



2010 年 10 月 18 日于清华园

前 言

群智能是一种与多代理系统的设计与应用(如优化和机器人学)相关的现代人工智能方法。这些系统的设计方法与传统的方法有着本质的不同。

群智能原理是基于为了达到某种期望行为而合作的多个不成熟个体,而不是一个成熟的管理系统全局行为的控制器。这些系统设计的灵感来自于社会昆虫的集体行为,如蚂蚁、白蚁、蜜蜂和黄蜂,还有鸟群、鱼群等动物群体的行为。在很多年里,群社会昆虫研究给研究人员带来了很大的困难。控制它们行为的原则长时间内依然是未知的。虽然这些群体中的个体都是不成熟的,但是它们能在合作中完成复杂的任务。这些群体中的个体相对简单的动作和个体之间的简单交互可以产生一种协调的行为。

举例来说,虽然单个蚂蚁、白蚁或黄蜂没有建筑巢穴的全局规划,其整个群体却能合作建造出精巧的巢穴。又如蚂蚁或蜜蜂在搜索食物时体现出的行为。蚂蚁使用一种被称为信息素的化学物质来寻找它们的巢穴到食物源之间的最短路径。而蜜蜂则通过一种摇摆舞来互相通告食物源的所在。欲了解更多更详细的启发了群智能应用的有趣的生物模型,请参阅本书的第1章和第2章。

科学家们将这些原理应用于新的方法如优化和机器人控制中。其评价系统的描述特性包括鲁棒性和灵活性。涉及自组织和分散式集体行为的相关研究领域现在都被认为是群智能的研究范畴。

群智能这个术语首先出现在贝尼和其同事关于细胞机器人系统的相关研究中,在此研究中简单的代理通过最近的邻居之间相互作用而进行自组织。同时,“群智能”这个术语还在一个更广阔的研究范围内被使用着,如由多瑞哥、特拉福鲁和宾白哥撰写,牛津大学出版社出版的《群智能——从自然到人工系统》一书中记载的那样。该书于1999年出版后,促进了群智能相关主题专著的显著增长。本书的意图在于:为群智能领域的初学者概述其概念与应用;为研究者提供本领域最新最有趣的研究进展。为此,我们特意邀请了某些在其各自领域有所建树的研究员撰写与群智能相关的工作。

书的第一部分导论介绍群智能、优化和群机器人的生物学基础,以及其在新一代通信网络中的应用。优化和群机器人学是现今群智能原理应用非常成功的两个领域。第二部分包含群智能研究的一些具体实例,例如,机器人行为的演变、粒子群动态优化、有机计算和生产网络中的非集中式流量。

最后,我们希望读者能够喜欢这本书,并学会从新的视角看待事物进而学到知识。

Christian Blum

Daniel Merkle

2008年4月

于巴塞罗那,欧登塞

目 录

第一部分 导论

第 1 章 群智能的生物学基础

Madeleine Beekman, Gregory A. Sword,
 Stephen J. Simpson 3

1.1 概述 3

1.2 分散式决策 8

 1.2.1 在何处搜寻 8

 1.2.2 探索与开发 11

 1.2.3 寻找新巢穴 12

1.3 群体迁移 18

 1.3.1 迁移中的蜜蜂 20

 1.3.2 蝗虫 21

 1.3.3 摩门蟋蟀 28

1.4 结语 34

参考文献 35

第2章 群智能优化

Christian Blum, Xiaodong Li	44
2.1 概述	44
2.2 蚁群优化	46
2.2.1 蚁群优化的起源	47
2.2.2 蚁群优化:整体描述	51
2.2.3 最近的趋势	57
2.3 粒子群优化	59
2.3.1 粒子群优化:简介	60
2.3.2 最近的趋势	66
2.4 群智能在优化中应用的更多实例	71
2.4.1 受劳力划分启发的应用	71
2.4.2 基于蚂蚁的聚类和排序	72
2.4.3 其他应用	72
参考文献	73

第3章 群机器人

Erol Sahin, Sertan Girgin, Levent Bayindir, Ali Emre Turgut	88
3.1 概述	88
3.2 什么是群机器人	88
3.2.1 系统级别特性	89
3.2.2 突出特性	89
3.2.3 协作机制	90
3.3 研究方向	90
3.3.1 设计	91
3.3.2 建模和分析	91
3.3.3 机器人	93
3.3.4 问题	96
3.4 结论	97
参考文献	98

第 4 章 受昆虫社会集体行为启发的下一代互联网路由协议:概述
Muddassar Farooq, Gianni A. Di Caro 102

4.1 概述 102

4.1.1 本章的组织 104

4.2 网络路由概论和挑战 105

4.3 网络路由协议的分类特性 108

4.4 从昆虫社会到网络路由协议 111

4.4.1 蚁群中的最短路径行为和元启发蚁群优化 111

4.4.2 从蜂群中得到的有用想法 113

4.5 蚁群优化路由协议 114

4.5.1 总体结构和 ACO 路由协议的属性 114

4.5.2 AutNet:无连接网络的主要参考算法 116

4.5.3 ABC:面向连接网络的主要参考算法 120

4.5.4 有线无连接网络的路由算法 121

4.5.5 有线面向连接网络的路由算法 126

4.5.6 QoS 网络路由算法 128

4.5.7 无线移动 Ad Hoc 网络算法 131

4.6 受蜂群行为启发的路由协议 136

4.6.1 有线无连接网络的蜂窝算法 136

4.6.2 其他基于蜂窝的有线网络算法 142

4.6.3 无线移动 Ad - hoc 网络的蜜蜂 Ad - hoc 算法 143

4.6.4 MANET 中其他基于蜜蜂 Ad - hoc 的算法 148

4.7 结论以及对 SI 路由的未来展望 148

参考文献 152

第二部分 应用

第 5 章 演化、自组织和群机器人
Vito Trianni, Stefano Nolfi, Marco Dorigo 165

5.1 概述 165

5.2	自组织行为的演化设计	166
5.2.1	设计问题	167
5.2.2	自组织行为的演化	168
5.2.3	文献中的群体演化机器人学	169
5.3	演化群组机器人的研究	170
5.3.1	群机器人实验工具:群机器人	170
5.3.2	同步	172
5.3.3	协调运动	179
5.3.4	避开孔洞	185
5.4	结语	189
	参考文献	191

第6章 粒子群动态优化问题

Tim Blackwell, Jürgen Branke, Xiaodong Li 195

6.1	概述	195
6.2	粒子群优化	196
6.3	解决动态环境中的挑战	198
6.3.1	变化检测	198
6.3.2	存储更新	198
6.3.3	多样化消失问题	198
6.3.4	重多样化	199
6.3.5	排斥	199
6.3.6	动态网络拓扑	200
6.4	多群和形态	201
6.4.1	量子粒子	201
6.4.2	多群 PSO	203
6.4.3	基于形态的 PSO	206
6.4.4	改进局部收敛	209
6.5	实验结果	211

6.5.1	移动峰值基准和实验设置	211
6.5.2	优化群型号	212
6.5.3	MPSO 中的量子粒子	213
6.5.4	SPSO 中的量子分布	214
6.5.5	调整群数量	216
6.5.6	比较 MPSO 和 SPSO	217
6.6	总结	218
	参考文献	219

第 7 章 一种基于代理的自组织生产方法

	Thomas Seidel, Jeanette Hartwig, Richard L. Sanders, Dirk Helbing	222
7.1	概述	222
7.1.1	问题的定义	224
7.1.2	本章的构成	224
7.2	与以前文献的联系	225
7.2.1	材料处理元件是生产网络的一部分	225
7.2.2	传输和缓冲系统基于代理的模型	225
7.2.3	作为“社会”行为基础的相互作用	226
7.2.4	运输和缓冲模型的组成和性能	227
7.3	模型组成概述	228
7.3.1	对通道预期循环时间的动态预测	229
7.3.2	通道中可能障碍的动态预测	231
7.3.3	带回转功能的寻径和障碍最小缓存自动检测	233
7.3.4	初始运动	234
7.3.5	下一通道的避障选择	236
7.4	传送和缓冲系统之间相关性的数学抽象	238
7.5	模型系统中元件运动的描述	240
7.6	仿真环境中模型的实现	241

7.7 寻径作为元件之间相互作用的基础	242
7.7.1 权重参数 β_{path} 的改变导致从最快路径的偏离	242
7.7.2 按预期到达目的地所需时间 Z 的改变导致从最快 路径的偏离	244
7.7.3 阻滞	245
7.7.4 团结协作与各自为战	246
7.7.5 一般特征	248
7.8 讨论	249
参考文献	251

第8章 有机计算与群智能

Daniel Merkel, Martin Middendorf,

Alexander Scheidler 256

8.1 概述	256
8.2 有机计算系统的实例	258
8.3 群控制应激	260
8.3.1 蚂蚁群聚	261
8.3.2 群有效性和聚类方法	262
8.3.3 反聚类	264
8.4 带移动元素的 OC 系统	270
8.4.1 细胞自动机模型	271
8.4.2 移动模型	272
8.4.3 简单环境下的实验	274
8.4.4 复杂环境下的实验	276
8.4.5 总结	278
8.5 最终评语	278
参考文献	279

第一部分 导论

第 1 章 群智能的生物学基础

第 2 章 群智能优化

第 3 章 群机器人

第 4 章 受昆虫社会集体行为启发的下一代互联网路由协议:概述

