

国家自然科学基金青年基金 (61100164)

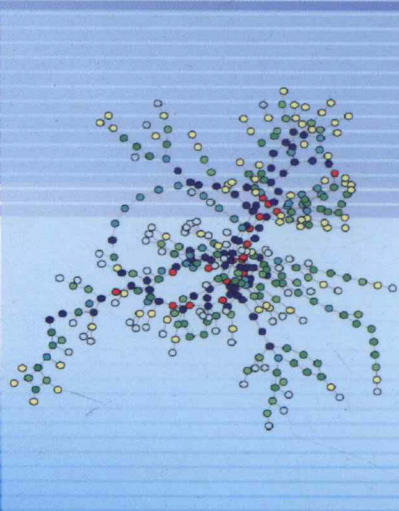
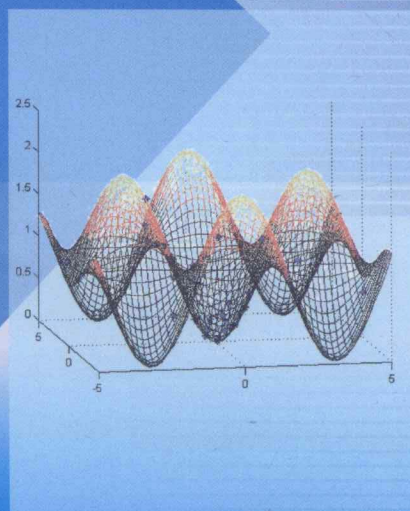
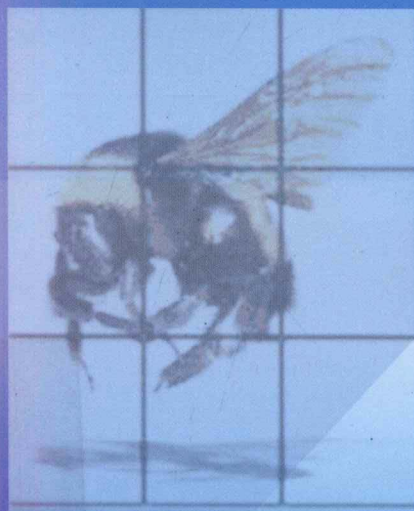
陕西省自然科学基金基础研究计划青年基金 (2010JQ8034)

陕西师范大学优秀学术著作出版基金资助出版

群智能优化算法 及其应用

Swarm Intelligent Optimization
Algorithms and Their Applications

雷秀娟 著



科学出版社

国家自然科学基金青年基金(61100164)
陕西省自然科学基金基础研究计划青年基金(2010JQ8034)
陕西师范大学出版基金资助出版

群智能优化算法及其应用

Swarm Intelligent Optimization Algorithms and Their Applications

雷秀娟 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以群智能优化算法中的粒子群优化 (Particle Swarm Optimization, PSO) 算法为主线, 着重阐述了 PSO 算法的基本原理、改进策略, 从解空间设计、粒子编码以及求解流程等方面进行了详细设计与阐述. 对蚁群优化 (Ant Colony Optimization, ACO) 算法、人工鱼群 (Artificial Fish School, AFS) 算法以及新颖的人工蜂群 (Artificial Bee Colony, ABC) 算法和细菌觅食优化 (Bacteria Foraging Optimization, BFO) 算法等群智能优化算法也做了简要介绍. 结合群智能优化机理, 对 PPI 网络的功能模块聚类分析问题进行模型构建和算法设计, 是本书的特色所在.

本书可作为人工智能、计算机科学、管理科学、系统工程、自动化、生物信息学等专业高年级本科生、研究生和教师的参考书, 也可供理工科其他专业的师生参考, 还可供从事优化领域的科技人员阅读和参考.

图书在版编目(CIP)数据

群智能优化算法及其应用 / 雷秀娟著. —北京: 科学出版社, 2012.8
ISBN 978-7-03-034627-8

I. ①群… II. ①雷… III. ①人工智能-最优化算法
IV. ①TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 182872 号

责任编辑: 杨 岭 郝玉龙 万 羽 / 封面设计: 陈思思

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码: 100717
<http://www.sciencep.com>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年8月第一版 开本: 787*1092 1/16

2012年8月第一次印刷 印张: 29

字数: 650千字

定价: 85.00元

序

受生物群体行为研究的启发，人们已经发明了大量群体计算模型，它们表现出了与单个个体完全不同的非凡计算能力，可以用于求解大量复杂的科学与工程问题，受到了广泛的关注和研究，并发展成为群智能优化计算的新型研究方向。

群智能优化算法是当前计算智能领域的一个研究热点，且已成为交叉学科中一个非常活跃的前沿性研究方向。《群智能优化算法及其应用》一书结合作者近年来的研究工作，比较全面地总结了这一领域最新的研究成果，具有一定的学术价值和实际意义。

雷秀娟博士多年来一直从事群智能优化算法及其应用方面的研究工作，并在该领域有着丰厚的积累。该书包含了作者在群智能优化应用方面的最新研究成果，尤其包含了一些在生物信息领域最新成功应用的经验。

该书内容取材新颖、覆盖面广，对群智能优化算法——粒子群优化（Particle Swarm Optimization, PSO）算法、蚁群优化（Ant Colony Optimization, ACO）算法、人工鱼群（Artificial Fish School, AFS）算法、人工蜂群（Artificial Bee Colony, ABC）算法和细菌觅食优化（Bacteria Foraging Optimization, BFO）算法等做了全面的介绍和初步分析。在应用上，不仅覆盖了对传统的函数优化、旅行商问题的求解，而且对交通优化与调度问题、路径规划问题及图像处理中的优化问题也进行了深入研究，特别是对生物序列比对及目前国际热点的蛋白质相互作用（Protein-Protein Interaction, PPI）网络的研究融合群智能优化机理进行了建模和算法设计，并给出了仿真实验和结果的对比分析。

该书注重理论联系实际，以实际应用问题为导向设计算法，且注重不同算法之间的效果比较；在写作上语言流畅、结构清晰、简明易懂、图文并茂。

该书是智能计算领域的一部新的学术著作，相信它的出版将对群智能优化算法的发展和应用起到积极的推动作用，也会成为这个领域的研究者和工程技术人员的一部优秀参考书。

谭 营

2012年2月

前 言

近年来,群智能优化算法作为计算智能和人工智能领域的一个研究热点以及交叉学科中一个非常活跃的前沿性研究课题,其应用已经渗透到各个领域.适时地研究与总结这一领域的最新成果有着非常重要的理论与实际意义.本书旨在结合工程实践中的优化问题对新型群智能算法进行阐述,力图提供解决相关优化问题的思路.

本书囊括了目前所有热点的群智能优化算法,以实际应用问题展开,以粒子群优化算法为主线.应用领域以函数优化作引,从旅行商问题引申到路径规划、调度,再到图像处理,最后到生物序列以及蛋白质相互作用网络,由浅入深,由一般的大家熟知的应用问题过渡到生物信息领域,首次将群智能优化方法引入蛋白质相互作用网络的功能模块聚类分析.从算法基本原理、算法特点、改进策略、实现模式及应用领域等方面做了系统阐述,观点新颖,内容全面.

本书对算法的解空间设计、编码方式、计算流程等都做了详细描述.在写作上力求结构清晰、简明易懂、图文并茂,以使读者能尽快掌握各种群智能优化算法的内涵并能灵活运用.为便于读者学习和研究,该书附录部分给出了群智能优化算法求解函数优化问题的 Matlab 程序源代码,对工程应用有较高的参考价值.

本书共 11 章,第 1 章是绪论,第 2、第 3 章是基础理论,第 4 章是粒子群优化算法的介绍,第 5~第 11 章属于应用篇,其中第 5、第 6 章是算法的性能测试,第 7、8 章是交通优化、调度与与路径规划问题的群智能算法解决方案,第 9 章是 PSO 算法在图像处理阈值优化问题中的应用,第 10 章是群智优化算法应用于生物序列比对问题,第 11 章采用群智能优化机理建立蛋白质相互作用网络的新型聚类模型并设计了相应的求解算法.本书的实验仿真由雷秀娟、吴爽、付阿利、孙晶晶、马千知、田建芳、徐小俊、黄旭、张兰等人完成,吴爽、尤梦丽、田建芳、李娜、曹天问等进行了部分章节的文字校对,雷秀娟进行了全书内容的编校和统稿工作.

西北工业大学自动化学院的史忠科教授和陕西师范大学计算机学院的李永明教授认真审阅了书稿并提出了很多宝贵的修改意见;State University of New York at Buffalo(USA)的 Aidong Zhang 教授,University of Saskatchewan(Canada)的 Fangxiang Wu 教授,西安电子科技大学计算机学院的高琳教授和西北工业大学自动化学院的张绍武教授在生物信息学的研究方面给予了悉心指导;北京航空航天大学自动化学院的段海滨副教授在蚁群优化算法的研究中给予了帮助;陕西师范大学生命科学学院的郭玲老师对部分章节进行了文字校对;科学出版社郝玉龙等编辑在本书出版过程中付出了辛勤劳动.本书获得了国家自然科学基金,陕西省自然科学基金基础研究计划青年基金,以及陕西师范大学优秀学术著作出版基金的共同资助,在此对评审老师、基金委办公室及陕西师范大学科技处的老师和工作人员表示诚挚的谢意!另外,本书的编撰工作还得到了陕西师范大学计算机学院各位领导和同事的大力支持,在此表示由衷的感谢!特别感谢北京大学信息科学技术学院谭营教授

百忙中为本书作序。

编者衷心希望本书能对对此研究领域感兴趣的读者有所帮助，尽管竭尽全力，但由于水平有限、时间仓促，书中难免有错误和不妥之处，恳请各位专家、学者及广大读者批评指正。

雷秀娟

2012年2月

目 录

序 前言

第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 群智能优化算法的思想起源	3
1.2.1 粒子群优化算法	4
1.2.2 蚁群优化算法	6
1.2.3 人工蜂群算法	8
1.2.4 人工鱼群算法	11
1.2.5 细菌觅食优化算法	14
1.3 本书组织结构	18
1.4 小结	20
参考文献	20
第2章 经典优化理论与方法	24
2.1 引言	24
2.2 线性规划	25
2.2.1 凸集和凸函数	25
2.2.2 线性规划的基本性质	26
2.3 非线性规划	29
2.4 整数规划	30
2.4.1 分支定界法	31
2.4.2 割平面法	32
2.4.3 指派问题	34
2.5 动态规划	37
2.5.1 动态规划的一些基本概念	37
2.5.2 动态规划的基本定理和基本方程	39
2.5.3 逆推解法和顺推解法	40

2.5.4	动态规划与静态规划的关系	40
2.6	多目标优化	41
2.6.1	多目标优化问题描述	41
2.6.2	基于 Pareto 的多目标最优解集	42
2.7	小结	44
	参考文献	44
第3章	智能优化方法	45
3.1	引言	45
3.2	遗传算法	46
3.2.1	概述	46
3.2.2	基本遗传算法的描述	48
3.2.3	基本遗传算法的实现	50
3.2.4	遗传算法的应用步骤	52
3.3	模拟退火算法	54
3.4	禁忌搜索算法	57
3.4.1	局部搜索	57
3.4.2	禁忌搜索	58
3.5	蚁群优化算法	59
3.5.1	基本蚁群优化算法的原理	59
3.5.2	基本蚁群优化算法的系统学特征	61
3.5.3	基本蚁群优化算法的数学模型	63
3.5.4	基本蚁群优化算法的具体实现	65
3.6	人工鱼群算法	67
3.6.1	算法描述	67
3.6.2	算法步骤	68
3.7	人工蜂群算法	69
3.7.1	算法描述	69
3.7.2	算法步骤	70
3.8	细菌觅食优化算法	70
3.8.1	趋向性操作	71
3.8.2	复制操作	71
3.8.3	迁徙操作	73
3.9	免疫算法	75
3.9.1	免疫算法的基本原理	75
3.9.2	免疫算子的机理	76
3.10	DNA 计算	78
3.10.1	DNA 计算的研究背景	78
3.10.2	DNA 计算机理及其特点	78

3.10.3	DNA 计算的分类与模型	79
3.10.4	DNA 计算的应用以及研究重点与难点	81
3.11	小结	82
	参考文献	83
第 4 章	粒子群优化算法	87
4.1	引言	87
4.2	基本 PSO 算法	87
4.3	加惯性权重的 PSO 算法	89
4.3.1	线性调整 w 的策略	89
4.3.2	模糊调整 w 的策略	90
4.3.3	随机调整 w 的策略	90
4.4	带收缩因子的 PSO 算法	90
4.5	收敛性分析	91
4.5.1	收敛性条件的导出	91
4.5.2	原始粒子群优化算法收敛性分析	96
4.5.3	带收缩因子的 PSO 算法的收敛性分析	97
4.5.4	粒子运动轨迹对收敛性的影响	97
4.6	参数分析	100
4.6.1	惯性权重	100
4.6.2	种群规模	104
4.6.3	拓扑结构	104
4.7	PSO 算法与控制理论中的典型环节	106
4.7.1	标准 PSO 算法方程	106
4.7.2	比例环节	106
4.7.3	一阶惯性环节	106
4.7.4	二阶振荡环节	107
4.8	几种改进策略	109
4.8.1	混合 PSO 算法模型	109
4.8.2	协同 PSO 算法模型	111
4.8.3	免疫 PSO 算法模型	111
4.8.4	离散二进制 PSO 算法模型	111
4.8.5	基于种群密度的 PSO 算法模型	112
4.8.6	适应度定标策略模型	114
4.8.7	自适应信道均衡算法模型	115
4.8.8	基于全局信息反馈的 PSO 算法模型	117
4.8.9	局部 PSO 算法模型	118
4.8.10	PSO 算法的拓扑改进	118
4.8.11	分层 PSO 算法模型	121

4.8.12	基于雁群启示的 PSO 算法模型	121
4.8.13	异步 PSO 算法模型	123
4.8.14	动态双种群 PSO 算法模型	124
4.8.15	量子 PSO 算法模型	125
4.8.16	混沌 PSO 算法模型	127
4.9	小结	128
	参考文献	129
第 5 章	PSO 算法用于函数优化	132
5.1	引言	132
5.2	标准 PSO (SPSO) 算法	133
5.3	带收缩因子和惯性权重线性递减的 PSO (W-K-PSO) 算法	133
5.4	二阶振荡 PSO (SOPSO) 算法	134
5.4.1	算法描述	134
5.4.2	学习因子对算法收敛性的影响	134
5.5	量子 PSO 算法	136
5.6	模拟退火 PSO (SAPSO) 算法	137
5.7	基于雁群启示的 PSO 算法	138
5.7.1	GeeseLDW 算法的实现步骤	139
5.7.2	GeeseLDW 算法的时间复杂度	139
5.8	遗传 PSO (GAPSO) 算法	140
5.9	仿真实验及结果分析	141
5.9.1	SAPSO 算法的两种退火方式对比	142
5.9.2	边界处理	143
5.9.3	各算法对 6 个测试函数的优化比较	144
5.9.4	PSO 算法在二维多模态函数上的动态寻优过程	149
5.10	小结	150
	参考文献	150
第 6 章	群智能优化算法求解 TSP	152
6.1	引言	152
6.2	改进的自组织 PSO 算法求解 TSP	153
6.2.1	自组织机制	153
6.2.2	改进的自组织 PSO 算法	154
6.2.3	基于交换子和交换序的改进自组织 PSO 算法求解 TSP	156
6.3	改进的混合 PSO 算法求解 TSP	159
6.3.1	PSO 算法与 GA 算法、SA 算法、ACO 算法的比较	159
6.3.2	混合粒子群优化 (Hybrid PSO, HPSO) 算法	160
6.3.3	改进的混合 PSO (LD-HPSO) 算法求解 TSP	162
6.3.4	基于雁群启示的混合粒子群 (Geese-HPSO) 算法求解 TSP	163

6.4	网络路由优化	170
6.4.1	QoS 网络路由	170
6.4.2	基于 ACA 的 QoS 网络路由算法	173
6.4.3	改进的蚁群算法在 QoS 网络路由中的应用	176
6.5	小结	180
	参考文献	181
第 7 章	PSO 算法求解交通优化与调度问题	183
7.1	引言	183
7.2	基于 W-K-PSO 算法的公交车优化调度	184
7.2.1	公交车调度模型	184
7.2.2	基于 W-K-PSO 算法的公交调度算法设计	189
7.2.3	仿真实验	189
7.2.4	小结	193
7.3	免疫 PSO 算法求解多库房带时间窗 VRP	193
7.3.1	多库房带时间窗 VRP	194
7.3.2	免疫 PSO 算法	195
7.3.3	实验仿真与结果分析	197
7.3.4	小结	200
7.4	PSO 算法求解交通信号配时优化	201
7.4.1	基本概念及问题描述	201
7.4.2	灾变粒子群优化算法	206
7.4.3	单交叉路口信号优化	208
7.4.4	多交叉路口信号优化	212
7.5	PSO 算法求解航班进场调度	217
7.5.1	引言	217
7.5.2	需求确定容量确定的单机场地面等待	218
7.5.3	需求确定容量随机的单机场地面等待	224
7.6	PSO 算法求解航班离场调度	231
7.6.1	引言	231
7.6.2	航班离场问题描述	231
7.6.3	航班离场排序模型	232
7.6.4	算法设计	233
7.6.5	仿真实验及结果分析	234
7.6.6	小结	241
7.7	小结	241
	参考文献	242
第 8 章	群智能算法与路径规划	244
8.1	引言	244

8.2	机器人全局路径规划的蚁群优化算法应用	244
8.2.1	环境建模	244
8.2.2	路径表示	245
8.2.3	基于蚁群优化算法的路径规划	246
8.2.4	算法步骤	246
8.2.5	仿真实验及结果分析	247
8.2.6	小结	249
8.3	机器人全局路径规划的粒子群优化算法应用	249
8.3.1	环境建模	249
8.3.2	碰撞检测	251
8.3.3	基于二阶振荡粒子群优化算法的路径规划	251
8.3.4	基于混合正交粒子群优化算法的路径规划	254
8.3.5	小结	258
8.4	机器人动态路径规划的人工蜂群算法应用	259
8.4.1	动态环境表示	259
8.4.2	时间滚动窗口策略	260
8.4.3	基于人工蜂群算法的局部路径规划	261
8.4.4	算法步骤	264
8.4.5	仿真实验及结果分析	265
8.4.6	小结	266
8.5	无人机航路规划的人工鱼群算法应用	267
8.5.1	环境建模	267
8.5.2	航路表示	268
8.5.3	基于人工鱼群算法的航路规划	268
8.5.4	算法步骤	269
8.5.5	仿真实验及结果分析	270
8.5.6	小结	272
8.6	小结	272
	参考文献	272
第9章	PSO 算法与图像处理	273
9.1	引言	273
9.2	基于 PSO 算法和二维最大熵的图像分割	273
9.2.1	引言	273
9.2.2	二维直方图理论	274
9.2.3	二维最大熵分割理论	276
9.2.4	二维 Otsu 分割理论	276
9.2.5	基于 GeesePSO 算法的二维最大熵算法设计	277
9.2.6	基于 GAPSO 算法的二维 Otsu 算法设计	278

9.2.7	仿真实验及结果分析	278
9.2.8	小结	282
9.3	基于 QPSO 算法的矢量量化图像压缩	282
9.3.1	引言	282
9.3.2	矢量量化图像压缩原理	283
9.3.3	算法设计	284
9.3.4	仿真实验	285
9.3.5	小结	287
9.4	压缩速度范围 PSO 算法的图像自适应增强	287
9.4.1	引言	287
9.4.2	灰度变换	288
9.4.3	压缩速度范围的改进粒子群算法	290
9.4.4	压缩速度范围改进 PSO (CV-PSO) 算法实现灰度自适应增强	291
9.4.5	仿真实验	292
9.4.6	小结	295
9.5	小结	295
	参考文献	295
第 10 章	群智能优化算法与生物序列比对	297
10.1	引言	297
10.2	序列比对的定义	297
10.3	双序列比对	299
10.3.1	Needleman-Wunsch 算法	300
10.3.2	Smith-Waterman 算法	301
10.4	多序列比对	302
10.4.1	基于混沌粒子群优化算法的多序列比对	302
10.4.2	改进惯性权重粒子群优化算法在多序列比对中的应用	307
10.4.3	人工蜂群算法在多序列比对中的应用	313
10.5	小结	319
	参考文献	319
第 11 章	群智能聚类融合算法与 PPI 网络	321
11.1	引言	321
11.2	聚类基本原理	321
11.2.1	聚类问题的一般描述	321
11.2.2	相似性度量方法	323
11.3	传统的聚类算法简介	325
11.3.1	基于划分的方法	325
11.3.2	基于层次的方法	325
11.3.3	基于模型的方法	326

11.3.4	基于密度的方法	326
11.3.5	基于网格的方法	327
11.3.6	小结	327
11.4	K 均值聚类算法	327
11.4.1	K 均值聚类算法的工作原理	328
11.4.2	K 均值聚类算法的数学描述	328
11.4.3	K 均值聚类算法的编码和适应度函数的选择	328
11.4.4	基于智能优化算法的 K 均值聚类	329
11.4.5	仿真结果及结论	332
11.4.6	小结	333
11.5	投影寻踪聚类模型	334
11.5.1	投影寻踪的发展及研究内容	334
11.5.2	投影寻踪聚类分析	334
11.5.3	投影寻踪学习网络	335
11.5.4	投影寻踪模型	335
11.5.5	投影寻踪聚类模型	336
11.5.6	基于智能优化算法的投影寻踪聚类模型	338
11.5.7	基本投影寻踪聚类模型的仿真结果及结论	339
11.5.8	投影寻踪数学模型的改进	341
11.5.9	小结	344
11.6	蛋白质相互作用 (PPI) 网络	345
11.6.1	蛋白质相互作用网络及其特征	345
11.6.2	PPI 网络的群智能聚类优化方法	347
11.6.3	PPI 数据库与数据预处理	349
11.7	谱聚类融合算法	353
11.7.1	带收缩因子的粒子群优化算法	353
11.7.2	改进的谱聚类算法	355
11.7.3	仿真结果及分析	358
11.7.4	小结	362
11.8	QPSO 算法与功能流融合的聚类算法	362
11.8.1	相关概念	363
11.8.2	功能流算法与 QPSO 算法的结合	364
11.8.3	算法描述	365
11.8.4	仿真及结果分析	368
11.8.5	小结	373
11.9	基于蜂群和广度优先遍历的 PPI 网络聚类	373
11.9.1	算法及相关概念介绍	374
11.9.2	算法的改进	376

11.9.3	算法实现	378
11.9.4	算法分析	381
11.9.5	小结	384
11.10	PPI 网络的蜂群功能流聚类模型与算法	385
11.10.1	基于蜂群优化搜索的功能流聚类模型	385
11.10.2	实验结果分析	388
11.10.3	小结	393
11.11	基于连接强度的 PPI 网络聚类改进蚁群优化算法	393
11.11.1	基本概念	394
11.11.2	JSACO 算法描述	396
11.11.3	仿真实验	398
11.11.4	实验结果及分析	400
11.11.5	小结	402
11.12	融合人工鱼群机理的 PPI 网络聚类模型与算法	403
11.12.1	相关知识介绍	403
11.12.2	基于人工鱼群算法的 PPI 网络聚类模型	405
11.12.3	仿真试验及结果分析	408
11.12.4	小结	412
11.13	改进的基于直觉模糊集和细菌觅食机理的 PPI 网络聚类算法	412
11.13.1	相关概念	413
11.13.2	基于直觉模糊集和细菌觅食机理的 PPI 网络聚类算法模型设计	414
11.13.3	仿真实验及结果分析	416
11.13.4	小结	419
11.14	小结	419
	参考文献	420
附录	425
一、	粒子群算法解决函数优化问题	425
二、	遗传算法解决函数优化问题	427
三、	模拟退火算法解决函数优化问题	431
四、	鱼群算法解决函数优化问题	433
五、	细菌觅食算法解决函数优化问题	437
六、	人工蜂群算法解决函数优化问题	439
七、	蚁群算法解决 TSP	444

第 1 章 绪 论

本章从群体智能优化算法的起源和机理方面进行了生动形象的阐述和引入，为第 3 章阐述智能优化算法的数学描述或计算流程作铺垫，也是后续应用章节的先导知识。

1.1 引言

我们有幸生存在一个多姿多彩的奇妙的世界里，多样的物种、多彩的生活，无不使我们慨叹大自然的鬼斧神功。集群是生物中一种常见的生存现象，如鸟类、鱼类、昆虫、微生物乃至我们人类等。生物依赖于环境的生存方式给人类解决问题的思路带来了许多启迪和鼓舞。自然界蕴含着丰富的信息，是人类创造力的源泉。人们从自然生态系统和生物的环境自适应性中得到了很多有益的启迪：动物的进化、免疫、神经元系统、DNA 信息以及生物的群体协作，使得许多在人类看起来高度复杂的优化问题可以得到与动物智能恰当对应且完美的解决方案。

动物行为具有以下几个特点：①适应性，动物通过感觉器官来感知外界环境，并应激性地作出各种反应，从而影响环境，表现出与环境交互的能力；②自治性，动物有其特有的行为，在不同的时刻和不同的环境中能够自主地选取某种行为，而无须外界的控制或指导；③盲目性，不像传统的基于知识的智能系统，有着明确的目标，单个个体的行为是独立的，与总目标之间往往没有直接的关系；④突现性，总目标的完成是在个体行为的运动过程中突现出来的；⑤并行性，各个体的行为是实时的、并行进行的。

Craig W. Reynolds 对鸟群等的行为进行了模拟^[1]。每只虚拟的鸟都作为一个独立的因素，它通过感知周围局部的动态环境来确定自身飞行的路线。在仿真过程中每只虚拟的鸟主要采用了 3 种行为：①防止碰撞，避免与周围的同伴发生碰撞；②速度匹配，试图使自身的速度与周围伙伴的速度一致；③中心聚拢，试图向附近的同伴聚拢。研究表明，一定数量的这种虚拟鸟能够在复杂的环境中聚集成群并自由避开障碍物。

群居生活的昆虫如蚂蚁、蜜蜂、黄蜂、白蚁中的每一个个体看上去都有自身的行动方式，并且整个群体在整体上呈现出高度的组织性。显然，所有个体活动的完美集成过程不需要任何的指导。事实上，研究社会性昆虫的科学家发现昆虫在群体中的协作是高度自组织的，它们的协调行为是通过个体之间的交互行为直接实现，或者个体与环境的交互行为间接实现的。虽然这些交互行为非常简单，但是它们聚在一起却能解决一些难题。这种潜在方式的集群智能已经逐渐为人们所认识，并得到应用。

群体智能中，**群体**指的是一群相互之间可以进行直接或间接通信的个体，这组个体可以通过相互协作进行分布问题求解。简而言之，**群体智能**就是低智能的个体通过相互通信与协作表现出高智能行为的特征。

群体智能的核心思想就是，由若干个简单的个体组成的群体通过他们之间的相互合作

表现出较为复杂的功能，并能够完成较为复杂的问题的求解。因此，群体智能在不存在集中控制并缺少局部信息和模型的情况下，为解决复杂分布式问题提供了思路。

1994年著名学者 Millonas 提出了群体智能应该遵循的5条基本原则^[2]：

(1)相似性原则(Proximity Principle)。个体组成的群体能够对空间和时间进行简单的计算。

(2)品质响应原则(Quality Principle)。群体能够对周围环境中的各种品质因子作出响应。

(3)多样性反应原则(Principle of Diverse Response)。群体的行动和响应范围不应该太窄。

(4)稳定性原则(Stability Principle)。群体不应该在环境发生变化时都随之改变自己的行为。

(5)适应性原则(Adaptability Principle)。在保证计算合理性的前提下，群体应该在适当的时机合理地改变自己的行为。

智能是个体能够有目的地行动、合理地思维，且能有效地适应环境的综合性能力。智能行为包括知觉、推理、学习、交流和在复杂环境中的行为。人工智能广义地讲是关于人造事物(理论或工程)的智能行为。智能计算也称为计算智能，就是借用自然界和生物界规律的启迪，根据其原理模仿设计求解问题的算法。包括遗传算法、模拟退火算法、免疫算法、模糊逻辑、DNA计算、膜计算、量子计算、禁忌搜索算法、粒子群算法、蚁群算法、人工蜂群算法、人工鱼群算法及细菌群体优化算法等，其中受动物群体智能启发的算法称为群智能优化算法，如图1.1所示。

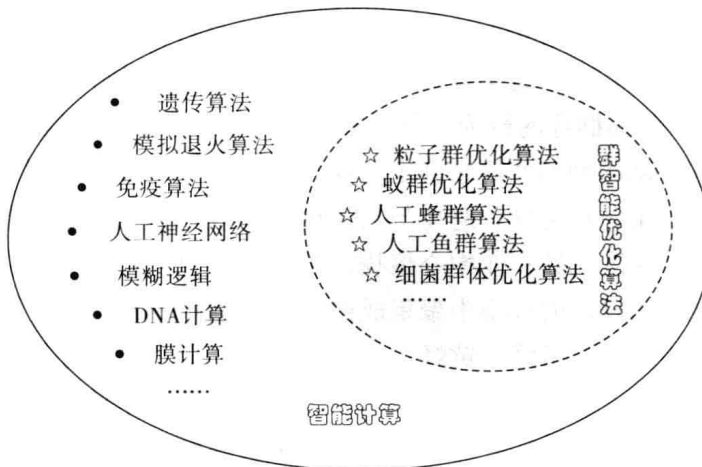


图 1.1 智能计算与群智能优化算法

群体智能的特点主要体现在以下几个方面：

(1)简单性。群体智能中的个体是低智能的、简单的，个体只能与局部个体进行信息交互，无法和全局进行信息交流，这就使模拟个体的算法容易实现并且执行的时间复杂度也小。同时，算法实现对计算机的配置要求也不高。另外，该方法只需计算目标函数值，不需要梯度信息，容易实现。因此，当系统中的个体数量增加时，对于系统所增加的信息