



国家出版基金资助项目
湖北省学术著作出版专项资金资助项目
智能制造与机器人理论及技术研究丛书
总主编 丁汉 孙容磊



群智能优化及其 在物流中的应用

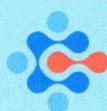
李文锋 梁晓磊◎著



QUN ZHINENG YOUHUA JI QI
ZAI WULIU ZHONG DE YINGYONG



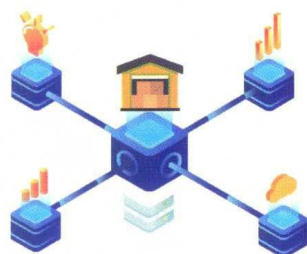
华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



国家出版基金资助项目
湖北省学术著作出版专项资金资助项目
智能制造与机器人理论及技术研究丛书
总主编 丁汉 孙容磊

群智能优化及其 在物流中的应用

李文锋 梁晓磊◎著



QUN ZHINENG YOUHUA JI QI
ZAI WULIU ZHONG DE YINGYONG



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

群智能优化技术是在自然群体基础上通过个体协作实现复杂系统优化的一种智能优化技术。智能物流系统作为智能制造系统的重要支撑,通过群智能优化方法可以有效解决复杂物流优化问题,提升问题优化效率、降低计算成本,提高对问题的响应效率。

本书得到了国家自然科学基金面上项目“基于移动智能体调度的混杂工业无线传感器网络抗毁性研究”(编号:61571336)和青年科学基金项目“面向多移动智能物流资源调度的动态渐进群集智能优化方法研究”(编号:61603280)等项目的资助。在此背景下,开展了关于智能制造发展背景下若干复杂物流系统优化问题的系统研究和实践。本书详细介绍了目前群智能优化技术的原理、基于自适应和社会网络的算法性能提升方法,以及群智能优化算法在自动化立体仓库货位优化、冷链配送车辆路径优化、云物流下基于协同库存的集合覆盖的选址-分配优化、集装箱多式联运优化和集装箱船舶贝位配载优化等具体实际问题中的应用。

本书可帮助高校师生和工程技术人员系统掌握群智能优化技术的原理、改进途径及应用策略,了解群智能优化算法国内外最新研究进展,掌握工程实际中典型物流问题的建模方法及群智能优化方法。本书对推广、提升智能制造环境下智能物流系统优化和发展具有重要意义。

图书在版编目(CIP)数据

群智能优化及其在物流中的应用/李文锋,梁晓磊著. —武汉:华中科技大学出版社,2018.12
(智能制造与机器人理论及技术研究丛书)
ISBN 978-7-5680-4914-6

I. ①群… II. ①李… ②梁… III. ①智能控制-最优化算法-应用-物流 IV. ①F25

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 008278 号

群智能优化及其在物流中的应用

李文锋 梁晓磊 著

Qun Zhineng Youhua ji Qi zai Wuliu zhong de Yingyong

策划编辑:俞道凯

责任编辑:熊 慧

封面设计:原色设计

责任校对:李 琴

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

电话:(027)81321913

武汉市东湖新技术开发区华工科技园

邮编:430223

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:湖北新华印务有限公司

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:14.5

字 数:248 千字

版 次:2018 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

定 价:98.00 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究



智能制造与机器人理论及技术研究丛书

专家委员会

主任委员 熊有伦（华中科技大学）

委 员（按姓氏笔画排序）

卢秉恒（西安交通大学）	朱 荻（南京航空航天大学）	阮雪榆（上海交通大学）
杨华勇（浙江大学）	张建伟（德国汉堡大学）	邵新宇（华中科技大学）
林忠钦（上海交通大学）	蒋庄德（西安交通大学）	谭建荣（浙江大学）

顾问委员会

主任委员 李国民（佐治亚理工学院）

委 员（按姓氏笔画排序）

于海斌（中国科学院沈阳自动化研究所）	王飞跃（中国科学院自动化研究所）
王田苗（北京航空航天大学）	尹周平（华中科技大学）
甘中学（宁波市智能制造产业研究院）	史铁林（华中科技大学）
朱向阳（上海交通大学）	刘 宏（哈尔滨工业大学）
孙立宁（苏州大学）	李 斌（华中科技大学）
杨桂林（中国科学院宁波材料技术与工程研究所）	张 丹（北京交通大学）
孟 光（上海航天技术研究院）	姜钟平（美国纽约大学）
黄 田（天津大学）	黄明辉（中南大学）

编写委员会

主任委员 丁 汉（华中科技大学） 孙容磊（华中科技大学）

委 员（按姓氏笔画排序）

王成恩（上海交通大学）	方勇纯（南开大学）	史玉升（华中科技大学）
乔 红（中国科学院自动化研究所）	孙树栋（西北工业大学）	杜志江（哈尔滨工业大学）
张定华（西北工业大学）	张宪民（华南理工大学）	范大鹏（国防科技大学）
顾新建（浙江大学）	陶 波（华中科技大学）	韩建达（南开大学）
蔺永诚（中南大学）	熊 刚（中国科学院自动化研究所）	熊振华（上海交通大学）

作者简介



► **李文锋** 武汉理工大学物流工程学院教授、博士生导师。瑞典皇家理工学院自治系统研究中心访问学者、美国新泽西理工大学和美国纽约大学访问教授。湖北省有突出贡献的中青年专家，中国人工智能学会智能制造专业委员会常务委员，中国机械工程学会机器人分会专业委员会委员，教育部高等学校物流管理与工程类专业教学指导委员会委员，IEEE 高级会员。主要研究方向：环境感知与系统协作控制；物流自动化与机器人技术；物流供应链仿真与规划；物联网与物流信息化技术；智能制造；人机工程与健康监护。先后承担国家自然科学基金项目、国家“十一五”和“十二五”科技支撑计划项目、国家863计划项目。先后发表科研论文近300篇，有100余篇次被三大检索(SCI、EI、ISTP)收录，撰写专著6本。获国家发明专利10多项。先后获得过省部级科学技术进步奖一等奖2项、二等奖7项、三等奖1项。



► **梁晓磊** 武汉科技大学讲师，硕士生导师，2015年获得武汉理工大学物流技术与装备工学博士学位，从事群智能优化技术与复杂物流系统仿真优化方法研究。主持国家自然科学基金项目1项，参与国家自然科学基金项目、国家“十一五”和“十二五”科技支撑计划项目、湖北省自然科学基金项目等课题。先后发表SCI、EI收录科研论文12篇，参编教材、专著共2本。先后获得省部级科学技术进步奖一等奖1项、二等奖1项，湖北省机械工程学会优秀学术论文一等奖，武汉理工大学优秀博士论文。主要研究方向：群智能优化；协同调度技术；物流系统建模与仿真；物流信息化技术。



总序

近年来,“智能制造+共融机器人”特别引人注目,呈现出“万物感知、万物互联、万物智能”的时代特征。智能制造与共融机器人产业将成为优先发展的战略性新兴产业,也是中国制造 2049 创新驱动发展的巨大引擎。值得注意的是,智能汽车与无人机、水下机器人等一起所形成的规模宏大的共融机器人产业,将是今后 30 年各国争夺的战略高地,并将对世界经济发展、社会进步、战争形态产生重大影响。与之相关的制造科学和机器人学属于综合性学科,是联系和涵盖物质科学、信息科学、生命科学的大科学。与其他工程科学、技术科学一样,制造科学和机器人学也是将认识世界和改造世界融合为一体的大科学。20 世纪中叶,《Cybernetics》与《Engineering Cybernetics》等专著的发表开创了工程科学的新纪元。21 世纪以来,制造科学、机器人学和人工智能等领域异常活跃,影响深远,是“智能制造+共融机器人”原始创新的源泉。

华中科技大学出版社紧跟时代潮流,瞄准智能制造和机器人的科技前沿,组织策划了本套“智能制造与机器人理论及技术研究丛书”。丛书涉及的内容十分广泛。热烈欢迎专家、教授从不同的视野、不同的角度、不同的领域著书立说。选题要点包括但不限于:智能制造的各个环节,如研究、开发、设计、加工、成形和装配等;智能制造的各个学科领域,如智能控制、智能感知、智能装备、智能系统、智能物流和智能自动化等;各类机器人,如工业机器人、服务机器人、极端机器人、海陆空机器人、仿生/类生/拟人机器人、软体机器人和微纳机器人等的发展和应用;与机器人学有关的机构学与力学、机动性与操作性、运动规划与运动控制、智能驾驶与智能网联、人机交互与人机共融等;人工智能、认知科学、大数据、云制造、车联网、物联网和互联网等。

本套丛书将成为有关领域专家、学者学术交流与合作的平台,青年科学家茁壮成长的园地,科学家展示研究成果的国际舞台。华中科技大学出版社将与



施普林格(Springer)出版集团等国际学术出版机构一起,针对本套丛书进行全球联合出版发行,同时该社也与有关国际学术会议、国际学术期刊建立了密切联系,为提升本套丛书的学术水平和实用价值,扩大丛书的国际影响营造了良好的学术生态环境。

近年来,各界人士、高校师生、各领域专家和科技工作者对智能制造和机器人的热情与日俱增。这套丛书将成为有关领域专家、学者、高校师生与工程技术人员之间的纽带,增强作者、编者与读者之间的联系,加快发现知识、传授知识、增长知识和更新知识的进程,为经济建设、社会进步、科技发展做出贡献。

最后,衷心感谢为本套丛书做出贡献的作者、编者和读者,感谢他们为创新驱动发展增添正能量、聚集正能量、发挥正能量。感谢华中科技大学出版社相关人员在组织、策划过程中的辛勤劳动。

华中科技大学教授

中国科学院院士

熊有伦

2017年9月



前言

这是一个物流巨速发展和变革的时代。每天千万件货物在处理,无人机快递、无人车运输、智能化物流中心等技术 and 产品正在物流行业实践,物流产业正在从单纯劳动密集型产业向高科技与管理结合的模式发展。信息化的物流资源提升了物流设备的智能性,也进一步丰富了智能物流的调度对象。在智能物流环境中,具备了移动感知和通信能力的物料、托盘和移动装备等物流对象成为新的智能物流调度资源。工业生产组织中的物流资源呈现出了新的特征。这些新的发展趋势和特征也将明显增加物流资源调度问题的复杂性。如何解决当前物流系统优化中面临的高维、多约束、动态、高效等 NP(non-deterministic polynomial, 非确定多项式) 难题,是物流领域学者和业界共同关注的热点话题。

群智能优化技术具有良好的鲁棒性和优化能力,为解决大规模复杂优化问题提供了有效的工具,已成为工业生产中任务调度、资源协同、布局优化等方面的热点技术。然而,群智能优化作为一种新颖的计算模式,研究和应用仍然存在许多问题,如“早熟”、种群多样性速降、“开发”和“开拓”行为不易控制等,制约了群智能优化算法搜索性能的提升。另外,目前优化问题越来越复杂,在智能算法构建中也面临如初始可行解构建难度大、搜索效率低、计算成本激增等难题。如何开发出更加有效的算法,与复杂的物流系统优化问题相结合,形成高效和普适的优化架构,是本书的主要出发点。

本书力求将理论研究与实际应用并重,围绕着群智能优化算法理论研究及其在物流实际问题优化中的应用,基于作者在群体结构、群体拓扑和个体行为研究的成果,融合复杂网络、人工智能、系统工程等的思想和方法,构建



了针对实际物流问题的群智能优化能力提升和应用的理论和实践方法。首先,从群体结构和搜索行为研究出发,提出具有异构分簇的聚类自适应策略,改善了算法性能;其次,从群体间网络关系分析入手,引入复杂网络理论,将网络拓扑演化作为调节群体搜索信息共享的手段,从而避免信息过度集中,提升整体优化能力;再次,从网络拓扑和个体行为控制两方面分析,在种群中引入社会网络的演化调整机制和个体学习行为方法,强化个体之间的交互和协作,优化人工种群的搜索能力;最后,将上述策略及方法分别应用在自动化立体仓库货位优化、冷链配送车辆路径优化、云物流下基于协同库存的集合覆盖的选址-分配优化、集装箱多式联运方案优化等问题中。在每个物流优化问题求解中,均设计了高效的编码、解码方案,将问题与算法紧密结合,充实了智能优化算法的应用方式和实践案例。

全书分为群智能优化算法理论研究和物流系统优化应用两大部分,共9章。

第1章介绍了群智能优化理论及应用较为广泛的几类群智能优化算法,并从群体网络、种群拓扑和个体行为角度进行了综述和分析。

第2章介绍了从种群结构和自适应角度构建的具有异构分簇性质和自适应能力的聚类自适应粒子群优化算法。

第3章从群体网络行为角度,提出了具有种群拓扑动态演化特征的粒子群优化算法,优化个体交互行为及整个种群的搜索行为。

第4章对个体邻域、种群拓扑和个体学习行为进行综合研究,提出了基于社会网络的群体优化算法,提高算法优化能力。

第5章分析了自动化立体仓库货位优化问题,构建了对应的模型,基于连续编码离散化策略进行了群智能优化算法搜索空间与问题解空间的对应,实现了问题的求解。

第6章中针对冷链物流中的车辆路径问题进行研究,基于连续编码方式,提出了多阶段解码过程,将群智能优化算法应用于此类问题求解。

第7章研究了云物流模式下的选址分配问题,考虑了协同库存问题的特点,提出了多段式的个体编码方式,实现了群智能优化算法的求解。

第8章设计了具有全局流量按比例分配与局部流量调整的编码方式,将多种群智能优化算法应用于多式联运问题的求解。

第9章中针对集装箱船舶的贝位配置优化问题,采用本书的算法进行了

求解设计。

作者及研究团队在群智能优化算法、物流系统建模与优化、物流系统仿真等方面进行了多年的深入研究,承担了多项国家、省部级科研课题和横向合作项目,积累了大量经验和成果。本书的大部分内容来源于这些精华,其中很多出自于相应的原创论文。这些为本书的完成提供了丰富的材料和应用基础。

要感谢张煜教授和李斌教授的支持,他们对第8章和第9章案例模型的构建和求解提出了宝贵建议。同时要感谢毕娅副教授的协助,其研究为第7章提供了基础资料。还要感谢团队中硕士生林红和刘盼盼,他们参与了第4章和第5章中大量的数据统计和案例构建。

在人工智能蓬勃发展的时代,群智能优化技术将迸发出更多的活力。由于能力及时间方面的原因,本书只是在群智能优化技术及其在物流领域中的应用方面做了一些探索和尝试,难免挂一漏万,敬请广大读者批评指正。未来,作者将在读者意见的基础上,进一步深入研究群智能搜索的内在机理,构建个体搜索的自适应调节控制方法,增强种群搜索行为,将智能优化与物联网、深度学习等技术进行深度结合,有效融合实际调度信息,构建高性能的新型群智能计算与应用模型,实现系统动态渐进式优化,以应对智能工业下的大规模动态资源调度和生产优化的要求,推进群智能理论研究及其在复杂工业场景中的应用。

本书的出版得到了国家自然科学基金面上项目“基于移动智能体调度的混杂工业无线传感器网络抗毁性研究”(编号:61571336)和青年科学基金项目“面向多移动智能物流资源调度的动态渐进群集智能优化方法研究”(编号:61603280)等项目的资助。本书的研究内容在上述基金研究项目中得到了应用。本书的出版也得到了华中科技大学出版社的大力支持。编辑在本书出版过程中,做了非常深入细致的工作,和作者多次沟通交流,提出了大量有建设性的意见和建议,引导作者对内容进行更细致的斟酌和订正,为保障本书的学术品质默默奉献。在此一并表示真挚的感谢。

作 者

2018年7月

本书的出版得到了国家自然科学基金面上项目“基于移动智能体调度的混杂工业无线传感器网络抗毁性研究”(编号:61571336)和青年科学基金项目“面向多移动智能物流资源调度的动态渐进群集智能优化方法研究”(编号:61603280)等项目的资助,在此表示真挚的感谢。



目录

第 1 章	群智能优化理论及其研究与分析	/1
1.1	群智能优化理论	/1
1.2	典型群智能优化算法	/4
1.2.1	遗传算法	/4
1.2.2	粒子群优化算法	/6
1.2.3	蚁群优化算法	/7
1.2.4	细菌觅食优化算法	/8
1.2.5	生物地理优化算法	/9
1.2.6	其他群智能优化算法	/11
1.3	群体行为的复杂网络与社会网络分析	/12
1.4	群智能的种群和拓扑结构	/14
1.5	群智能优化中个体行为控制	/16
	本章小结	/19
第 2 章	具有异构分簇的聚类自适应粒子群优化算法	/21
2.1	基于聚类的自适应粒子群优化算法	/21
2.1.1	基于聚类的种群动态分割策略	/22
2.1.2	基于异构簇的自适应调整策略	/24
2.2	算法流程	/25
2.3	实验分析和讨论	/25
2.3.1	实验设计和 Benchmark 函数	/25
2.3.2	实验 1:种群分布度对比分析	/27
2.3.3	实验 2:算法参数敏感性测试	/29
2.3.4	实验 3:相同初始值对比测试	/30



2.3.5 实验4:相同最大迭代次数对比测试 /43

本章小结 /51

第3章 基于社会网络演化的动态拓扑粒子群优化算法 /52

3.1 基于社会网络演化的粒子群优化算法 /52

3.1.1 群智能中的社会网络 /52

3.1.2 子群划分策略 /53

3.1.3 基于社会网络演化的动态拓扑构建算法 /54

3.1.4 算法流程 /63

3.2 算法复杂度分析 /64

3.3 标准测试函数实验 /64

3.3.1 测试函数 /64

3.3.2 对比算法及其参数 /65

3.3.3 实验内容及分析 /66

本章小结 /76

第4章 基于社会网络的群体优化算法 /77

4.1 基于社会网络模型的动态种群拓扑结构构建 /77

4.2 扩展式个体邻域构建 /79

4.3 个体学习行为调整 /81

4.3.1 NI 中个体学习方式 /81

4.3.2 RI 中个体学习方式 /82

4.4 算法流程 /84

4.5 与其他智能算法的比较 /86

4.6 数值实验与分析 /87

4.6.1 实验设计 /87

4.6.2 实验与分析 /92

本章小结 /115

第5章 基于群智能优化算法的自动化立体仓库货位优化 /116

5.1 货位优化分配问题 /116

5.2 货位优化分配问题模型 /117

5.2.1 模型假设 /117

5.2.2 模型符号说明 /117

5.2.3 模型构建 /118

5.3 基于群智能优化的货位分配问题求解 /119

5.3.1 算法设计 /120

5.3.2 货物编码与货位编码 /121

5.4 汽车零部件货位优化分配实例分析 /123

5.4.1 模型相关参数说明 /123

5.4.2 算法相关参数说明 /124

5.4.3 案例结果分析 /124

本章小结 /128

第6章 冷链配送车辆路径的群智能优化 /129

6.1 冷链物流及车辆路径问题 /129

6.1.1 冷链物流相关概念 /129

6.1.2 冷链物流配送路径研究 /129

6.2 冷链配送车辆路径优化模型 /130

6.2.1 模型相关假设和参数 /130

6.2.2 目标函数构建 /131

6.3 基于群智能优化算法的冷链网络配送模型求解 /133

6.3.1 群智能优化算法搜索——以萤火虫算法为例 /133

6.3.2 针对网络配送问题的个体编码设计 /135

6.4 案例分析 /137

6.4.1 案例 /137

6.4.2 实验设计 /140

6.4.3 结果及分析 /141

本章小结 /143

第7章 云物流下基于协同库存的集合覆盖的选址-分配优化 /144

7.1 问题背景分析 /144

7.2 模型构建和特点分析 /144

7.3 云物流下选址-分配模型的群智能优化算法设计 /146

7.4 基于云物流的汽车零部件供应物流选址-分配案例研究 /151

7.4.1 汽车零部件供应物流的现状 & 需求分析 /151

7.4.2 实验设计 /152

7.4.3 云物流下基于协同库存的集合覆盖的选址-分配案例 /155

本章小结 /160



第8章 基于群智能优化算法的集装箱多式联运优化 /162

- 8.1 集装箱多式联运问题 /162
- 8.2 多式联运基本模型 /164
- 8.3 多式联运问题编码及解码 /165
 - 8.3.1 全局流量按比例分配 /165
 - 8.3.2 局部流量调整策略 /167
 - 8.3.3 带惩罚的目标函数 /168
 - 8.3.4 问题求解流程 /169
- 8.4 案例分析 /169
 - 8.4.1 案例 /169
 - 8.4.2 算法对比设置 /171
 - 8.4.3 实验结果分析 /171

本章小结 /179

第9章 集装箱船舶贝位配载的优化 /180

- 9.1 集装箱船舶贝位配载问题 /180
 - 9.1.1 集装箱船舶贝位配载问题分类 /180
 - 9.1.2 集装箱船舶箱位位置表示 /181
- 9.2 集装箱贝位配载模型 /182
 - 9.2.1 模型假设 /182
 - 9.2.2 模型参数及相关变量定义 /182
 - 9.2.3 模型的目标函数 /183
- 9.3 个体编码方案设计 /184
 - 9.3.1 基于个体位置排序的装载顺序解码 /184
 - 9.3.2 基于规则的贝位装载策略 /185
- 9.4 个体适应度计算 /187
- 9.5 问题求解步骤 /187
- 9.6 案例实验 /189
 - 9.6.1 案例设计 /189
 - 9.6.2 对比算法设计 /190
 - 9.6.3 实验结果及分析 /191

本章小结 /200

参考文献 /201



第 1 章

群智能优化理论及其研究与分析

1.1 群智能优化理论

较高的物流成本一直是制约我国物流整体水平提升的瓶颈。较高的物流成本意味着较低的物流管理效率,造成了大量资源浪费,影响了经济活动中的物资流通效率。而网络经济繁荣发展,加速了物流服务的社会化,大量车辆和人员参与社会物流活动中,也增加了物流优化的复杂性。如何合理地利用和调度这些大量存在的物流资源,提高物流效率,降低物流成本,是当前物流发展面临的难题。这些难题凸显了对物流资源合理利用和优化调度的紧迫性。因此,针对当前物流中的复杂问题,寻求适合解决复杂物流优化问题的科学方法,进行高效的物流资源调度优化,降低运营成本,提高物流效率,已成为物流领域优化研究的重点。

物流过程涉及工业和生活的多个方面,从运输、包装、仓储到配送的各个环节中包含不同的物流活动和多种物流设施及人员。研究环节和对象不同,所研究的内容也不同。从研究对象类型上,物流优化问题大体可划分为以下两类:

(1) 物流网络优化问题,即对货物从供应地到目的地流通的渠道结构进行优化,从网络结构层面降低物流网络的耗费成本。此类问题包括如多式联运网络优化、快递网络优化、选址-分配网络优化、车辆路径优化等,其目的是通过物流网络结构的优化,降低运输成本和时间成本,提高物流效率。

(2) 物流资源调度优化问题,即对物流设备资源作业进行优化,以提高其利用率。此类问题包括集装箱船舶配载优化、集装箱装箱优化、立体化仓库空间布局优化、托盘货物码放等,目标是通过物流设施和设备进行作业空间和时间上的优化,提高设备利用率,节约成本。

上述两类问题在实际中也经常综合进行考虑,进行协同优化。针对这些问

题,在小规模和弱约束时,通常采用常规优化方法,如整数规划、动态规划、单纯形法及网络流等进行求解,可以得到比较好的物流优化结果。然而在实际中,随着运输装备大型化发展和流量需求激增,如何在有限的可用资源下,高效地进行物流资源的合理利用,提高其利用率,并降低对环境的影响,成为企业和整个社会需要解决的重要问题。这些新的发展趋势和要求明显加强了对物流优化问题的实际约束和大大增加了问题规模,使算法搜索的空间规模急剧扩大,出现搜索的“组合爆炸”现象,导致传统算法无法在有效的多项式时间内完成问题搜索,造成其在求解此类问题时往往失效。

近几十年来,随着计算机性能的提升和优化理论的发展,常规问题都可以得到很好的解决。然而,问题规模和复杂性的增加,尤其是具有不确定性、非线性以及时间不可逆等特征的复杂问题,对优化技术的发展提出了巨大挑战。基于解析方法的常规优化技术对于这种新特征的复杂优化问题往往显得力不从心^[1]。而自然界的许多现象不断引起研究者对生物系统的思考:群体生物内部个体可以基于简单的行为规则完成对复杂问题(如蜂巢、蚁巢的构建)的解决,表现出了高度的智能。这些群集生物现象给学者们解决复杂问题提供了新的研究思路,从而开启了群智能(swarm intelligence, SI)的研究。

从发展上看,群智能的产生和发展与人工智能(artificial intelligence, AI)和仿生学(bionics)的发展紧密相关。随着仿生学和群智能科学的发展,研究者利用计算机对自然界中一些生物和自然现象的内在机制进行研究和模拟,取得了极有价值的成果,促进了群智能的极大发展。目前,虽然对于群智能还未有广泛认可的从数理角度的严格定义和特征描述,但群智能所具有的一些特征,如涌现、分布式、协同和自组织行为等,在解决一些复杂问题时表现出的优良特性,已经得到广泛认同。对于一个群智能系统,文献[2,3]指出了其应该具有的五条准则:

- (1) 亲近性(proximity),种群可以在相似的时间和空间内进行计算;
- (2) 品质(quality),种群可以响应环境状态因子,以进行自身状态的评价,提升自身品质;
- (3) 多样性反应(diverse response),种群是分布式的,对环境变化会产生多样的反应,从而减缓环境变化对群体整体的影响;
- (4) 稳定性(stability),在环境发生变化时,群体不必每次改变自身行为;
- (5) 自适应性(adaptability),群体可以在所耗成本可接受的条件下进行自