



# 群智能优化算法 理论与应用

梁艳春 吴春国 时小虎 葛宏伟 著



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 群智能优化算法 理论与应用

王开明 王开明 王开明 王开明 王开明



清华大学出版社  
Tsinghua University Press

# 群智能优化算法 理论与应用

梁艳春 吴春国 时小虎 葛宏伟 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

群智能优化算法是一个方兴未艾的研究领域,本书涉及了很广泛的一类群智能优化算法.全书共分六篇,分别阐述了作者近年来在(广义染色体)遗传算法、粒子群算法、蚁群算法、免疫算法、细菌觅食算法和 Memetic 算法等典型群智能优化算法方面的研究成果,并结合(广义)旅行商问题、车间调度问题等给出了算法的数值实验结果.

本书可供计算机科学、信息科学、人工智能、自动化、计算科学等相关领域的研究生、教师、科研人员以及工程技术人员参考使用,也可供高年级本科生作为开拓视野、增长知识的材料阅读.

### 图书在版编目(CIP)数据

群智能优化算法理论与应用/梁艳春等著. —北京:科学出版社,2009  
ISBN 978-7-03-025605-8

I. 群… II. 梁… III. 最优化算法-人工智能 IV. O242.23 TP18

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009) 第 167610 号

责任编辑:范庆奎 杨 然 / 责任校对:陈玉凤  
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

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>

雄志印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2009年9月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2009年9月第一次印刷 印张: 14 1/4

印数: 1—2500 字数: 277000

定价: 58.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

# 前 言

20 世纪 80 年代以来, 工业生产过程朝着大型、连续、综合化的方向发展, 形成了复杂的生产过程, 各类工程问题的优化计算越来越成为人们急需解决的问题. 简单地说, 优化即是在多种 (有限种或无限种) 决策中挑选最好决策的问题, 作为一个重要的学科分支一直受到人们的广泛重视. 它广泛应用于工业、农业、国防、工程、交通、金融、化工、能源、通信等许多领域, 如在系统控制、模式识别、生产调度、VLSI 技术、计算机工程等许多领域中产生了巨大的经济效益和社会效益. 工程过程的最优化对提高效率和效益、节省资源具有重要作用. 应用实践表明, 在同样条件下, 经过优化技术的处理, 对系统效率的提高、能耗的降低、资源的合理利用及经济效益的提高等均有显著的效果, 而且随着处理对象规模的增大, 这种效果也更加显著. 这对国民经济的各个领域来说, 其应用前景是巨大的. 优化方法的理论研究对改进算法性能、拓宽算法应用领域、完善算法体系同样具有重要作用. 也就是说, 优化理论与算法的研究是一个同时具有理论意义和应用价值的重要课题.

目前, 基于严格机理模型的开放式方程建模与优化已成为国际上公认的主流技术方向. 然而, 基于严格机理模型所得到的优化命题往往具有方程数多、变量维数高、非线性强等特点, 这使得相关变量的储存、计算及命题的求解都相当困难. 不仅工业界存在着复杂的优化问题, 在国民经济的各个领域中也存在着相当多的涉及因素多、规模大、难度高和影响广的优化命题, 如运输中的最优调度、生产流程的最优排产、资源的最优分配、农作物的合理布局、工程的最优设计以及国土的最优开发等, 所有这些问题的解决也必须要有一个强有力的优化工具来进行求解. 常规的优化算法面对这样的大型问题已无能为力, 无论是在计算速度、收敛性、初值敏感性等方面都远不能满足要求. 而基于计算智能的优化方法易于实现, 算法中仅涉及各种基本的数学操作, 计算相对简单. 另外, 其数据处理过程对 CPU 和内存的要求也不高. 更为重要的是, 计算智能的方法大都具有潜在的并行性和分布式特点, 这些特点为处理大量的以数据库形式存在的数据提供了技术保证. 因此, 无论是从理论研究的角度考虑, 还是从应用研究的角度考虑, 针对常规优化算法遇到的难点研究智能的优化方法来解决这些问题都是具有重要学术意义和现实价值的.

进入 20 世纪 90 年代以来, 以不确定性、非线性、时间不可逆为内涵, 以复杂问题为对象的科学新范式得到了学术界的普遍认同, 而建立在解析基础上的常规方法对于这种新范式显得无能为力. 人们逐渐认识到, 必须探索新的方法来解决更加灵活、鲁棒性较强的系统. 此时, 智能模拟方法开始兴起, 并越来越多地得到研究

者的重视. 随着传统人工智能在感知、理解、学习、联想及形象思维等方面遇到的严重困难, 以及计算机容量和计算速度的不断提高、大规模并行处理技术的产生和自身理论的逐步成熟, 使得智能模拟方法进入了一个全新的发展时期. 由智能模拟方法组成的计算智能技术, 更是引起了包括人工智能在内的诸多领域专家学者的关注. 计算智能的诞生和发展, 为摆脱传统人工智能所面临的困境提供了一种新的方法, 已成为该领域的一个新的发展方向.

作为计算智能的一个重要分支, 群智能优化算法是人们从生物进化机理和一些物理现象中受到启发提出的许多用以解决复杂优化问题的新方法, 因其高效的优化性能、无须问题特殊信息等优点, 受到各领域广泛的关注和应用. 近年来, 随着人工智能和人工生命的兴起, 出现了一些新型的仿生算法, 其中, 较具代表性的有蚁群算法和粒子群算法等群智能优化算法. 各种不同的方法, 各有其特长与局限, 把不同的方法结合起来, 构成一个优势互补、复合协同的综合集成应用系统已成为目前的主流方向. 群智能优化算法已经在机器学习、过程控制、经济预测和工程优化等领域取得了巨大成功. 鉴于国际上群智能优化算法的研究热潮和作者近年来的学术研究成果, 本书主要介绍较具代表性的群智能优化算法的理论与应用.

全书共分为 6 篇 18 章, 重点阐述了作者近年来在群智能优化算法领域取得的一些研究成果, 并结合 (广义) 旅行商、车间调度等问题给出了算法的应用实例. 第一篇阐述了解决 TSP 的遗传算子的设计与机理分析、有约束旅行商问题的遗传算法求解策略和求解广义旅行商问题的遗传算法——广义染色体遗传算法. 利用广义染色体遗传算法, 可以把传统旅行商问题和广义旅行商问题的求解统一起来, 使得两类问题可以在统一的框架下求解. 第二篇阐述了粒子群优化算法求解 (广义) 旅行商问题和车间调度问题的策略, 把粒子群算法的应用推广到离散组合优化问题的求解中. 第三篇和第四篇分别阐述了蚁群算法和人工免疫算法的基本原理以及在 (广义) 旅行商和车间调度问题中的应用. 为了使得本书尽量涵盖有代表性的群智能优化算法, 第五篇简要地介绍了细菌觅食算法和 Memetic 算法, 并给出了针对典型应用问题的应用实例. 第六篇讨论了几种常见群智能优化算法的混合策略, 以期对混合算法的设计提供指导原则, 更好地发挥不同算法优势互补、复合协同的作用.

本书是吉林大学计算机科学与技术学院智能工程研究室相关研究人员集体工作的结晶. 作者要特别感谢国家自然科学基金 (60673023, 10872077, 60803052, 60703025) 和国家高技术研究发展计划 (863) 项目 (2009AA02Z307) 的支持; 感谢郭新辰、孙亮、杨金辉、管仁初、张琛、张娜等博士和硕士研究生在书稿整理过程中所付出的辛勤劳动.

书中不妥之处, 敬请读者指正.

作 者

2009 年 5 月 24 日

于吉林大学

# 目 录

前言	
绪论	1

## 第一篇 遗传算法

第 1 章 遗传算法简介	9
1.1 遗传算法的发展历史	9
1.2 遗传算法的基本原理	10
1.3 遗传算法的数学机理	12
1.4 遗传算法的特点	14
参考文献	15
第 2 章 遗传算法求解传统旅行商问题	17
2.1 TSP 的数学描述	17
2.2 求解 TSP 的遗传算法	19
2.3 模拟实验结果与分析	25
本章小结	32
参考文献	32
第 3 章 遗传算法求解有约束旅行商问题	34
3.1 三类有约束的 TSP	34
3.2 有约束 TSP 的求解	35
3.3 模拟实验结果	37
本章小结	42
参考文献	42
第 4 章 遗传算法求解广义旅行商问题	44
4.1 广义旅行商问题	44
4.2 广义染色体遗传算法	46
4.3 广义染色体遗传算法的若干分析	61
4.4 数值模拟实验	63
本章小结	70
参考文献	71

## 第二篇 粒子群优化算法

第 5 章 粒子群优化简介 .....	75
5.1 粒子群优化算法原理 .....	75
5.2 粒子群优化算法同其他算法的比较 .....	79
5.3 粒子群优化算法应用 .....	80
本章小结 .....	81
参考文献 .....	81
第 6 章 离散 PSO 算法解决 (广义) 旅行商问题 .....	83
6.1 离散 PSO 算法及其在 TSP 中的应用 .....	83
6.2 离散 PSO 算法在广义 TSP 中的扩展 .....	87
参考文献 .....	91
第 7 章 基于粒子群优化的车间作业调度问题求解 .....	92
7.1 车间调度问题描述 .....	92
7.2 调度性能指标与调度解分类 .....	94
7.3 基于粒子群优化的 JSSP 求解 .....	95
7.4 数值模拟实验 .....	100
参考文献 .....	102

## 第三篇 蚁群算法

第 8 章 蚁群算法简介 .....	107
8.1 蚁群算法起源及发展 .....	107
8.2 蚁群算法的原理 .....	107
8.3 蚁群算法的特点 .....	110
参考文献 .....	110
第 9 章 蚁群算法在求解旅行商问题中的应用 .....	113
9.1 基本蚁群算法求解旅行商问题 .....	113
9.2 蚁群算法求解广义旅行商问题 .....	114
9.3 蚁群算法求解带时间窗的利润收集 TSP .....	119
参考文献 .....	124
第 10 章 蚁群算法在求解车间调度问题中的应用 .....	125
10.1 相遇算法 .....	125
10.2 Job-Shop 问题的图形化定义 .....	126
10.3 求解 Job-Shop 问题的相遇算法 .....	127



10.4	MMMS 与 SA 的混合算法求解 Job-Shop 问题	129
10.5	数值模拟实验	131
	参考文献	132

## 第四篇 免疫算法

第 11 章	免疫算法简介	135
11.1	人工免疫系统的概念与范畴	135
11.2	人工免疫系统原理	136
11.3	免疫算法与体液免疫的关系	137
11.4	免疫算法的运行机制	138
	参考文献	140
第 12 章	基于人工免疫系统的旅行商问题求解	143
12.1	亲和度	143
12.2	变异操作	143
12.3	克隆选择	144
12.4	疫苗接种	144
12.5	免疫记忆	145
12.6	算法步骤	146
12.7	数值模拟实验	146
	参考文献	147
第 13 章	基于人工免疫系统的车间作业调度问题求解	148
13.1	抗体群初始化算法	148
13.2	亲和力的计算和调整	149
13.3	克隆选择	149
13.4	疫苗接种和变异	150
13.5	受体编辑	151
13.6	基于免疫系统求解车间作业调度问题的流程	151
13.7	数值模拟实验	151
	参考文献	153

## 第五篇 其他群智能优化算法

第 14 章	细菌觅食算法	157
14.1	算法简介	157
14.2	细菌觅食算法分析	158
14.3	求解车间调度问题	159

14.4 仿真实验及结果分析····· 165

本章小结····· 168

参考文献····· 168

**第 15 章 Memetic 算法**····· 170

15.1 算法简介····· 170

15.2 算法实现框架····· 170

15.3 克隆选择 Memetic 算法····· 171

15.4 数值模拟试验及结果····· 181

本章小结····· 183

参考文献····· 183

## 第六篇 混合群智能优化算法及应用

**第 16 章 基于隐马尔可夫模型和免疫粒子群优化的多序列比对算法**····· 187

16.1 多重序列比对与 HMM 简介····· 187

16.2 免疫粒子群优化算法····· 191

16.3 基于 IPSO 的多序列比对····· 193

16.4 数值模拟实验····· 195

本章小结····· 197

参考文献····· 197

**第 17 章 粒子-免疫算法求解车间作业调度问题**····· 199

17.1 基于 PSO 和 AIS 的混合智能算法····· 199

17.2 数值模拟实验及结果····· 200

参考文献····· 206

**第 18 章 基于群智能的混合算法**····· 208

18.1 基于群智能的混合模式····· 208

18.2 各种混合模式的分析····· 213

18.3 数值计算及结果比较····· 215

本章小结····· 219

参考文献····· 219

## 绪 论

群智能优化算法是一类以多个解 (也称为个体) 组成群体的方式, 通过某些或全部个体的信息交互完成寻优的算法, 典型的群智能优化算法包括遗传算法、粒子群算法、免疫算法和蚁群算法等. 这些算法本质上都属于随机搜索算法. 它们被称为“智能”优化算法的一个原因就是它们的提出都受启发于自然界的某种生物现象, 算法的群体都在某种程度上体现出了生物系统的自组织、自适应行为. 群智能优化算法中提出最早的是遗传算法. 它是 20 世纪 60 年代由美国 Michigan 大学的 Holland 教授及其学生和同事发展起来的.

随着遗传算法的成功, 更多的研究者开始意识到模拟自然界生物自适应现象在算法设计中的重要性和可行性. 在 20 世纪 70~90 年代的二十多年时间里, 粒子群算法、免疫算法和蚁群算法等基于群体智能的优化算法被陆续提出. 这些算法在广泛的工程领域中都已经取得了显著的成功. 尤其是对于大规模优化问题, 传统的基于数学规划的方法遇到了计算时间上的困难. 此时, 群智能优化算法作为可以在较短时间内获得最优解 (或者次优解) 的优化工具获得了广泛的应用和认同. 群智能优化算法逐渐形成了现代优化算法领域的研究热点. 按照黄席樾等的观点, 目前群智能优化算法的研究呈现出三大趋势: 一是对经典智能算法的改进和广泛应用, 以及对其理论的深入研究; 二是开发新的智能工具, 拓宽其应用领域, 并为其寻求理论基础; 三是经典智能算法与现代智能算法的结合建立混合智能算法.

目前经典智能算法的改进和应用研究比较广泛, 研究者针对各种具体问题提出了大量对经典算法的改进, 使得这些群智能优化算法得以适应各个领域的需求. 但是对于各种群智能优化算法的理论研究工作还相对有限, 其中, 相比较而言, 遗传算法的理论研究更加完整一些. 但是即使如此, 遗传算法的理论研究工作还有待于进一步深化.

现有群智能优化算法在应用领域的成功使研究者对仿生算法的研究有了更大的信心. 目前, 各种新的群智能优化算法正不断地涌现出来. 这些算法的生命力正经受着时间的严格检验. 本书为了避免误导读者, 仅对若干种典型群智能优化算法加以论述, 并尽量深入浅出地分析这些算法的机理, 以求给读者以指引和新的启发.

各种智能算法的混合是当前一个研究热点和研究趋势. 算法的混合有着固有的内在需求. 例如, 本书给出了一种粒子群算法和免疫算法混合求解车间调度问题的算法. 在那里我们验证了单一的粒子群算法或者免疫算法都无法给出满意的调度方案, 只有当两者被设计成合理的混合算法时, 各种车间调度问题的标准测试

才得到了满意的结果. 群智能优化算法的混合不是简单的多种算法的组合, 它们的混合策略要按照一定的模式进行. 本书在混合群智能优化算法部分针对算法的混合模式进行了讨论.

为了使一般读者对本书涉及的几种群智能优化算法有一个整体的印象, 下面对这几种算法作一简要介绍.

### 1. 遗传算法

遗传算法是一种模拟自然选择和遗传机制的寻优方法. 20 世纪 60 年代初期, Holland 教授开始认识到生物的自然遗传现象与人工自适应系统行为的相似性. 他认为不仅要研究自适应系统本身, 也要研究与之相关的环境. 因此, 他提出在研究和设计人工自适应系统时, 可以借鉴生物自然遗传的基本原理, 模仿生物自然遗传的基本方法. 1967 年, 他的学生 Bagley 在博士论文中首次提出了“遗传算法”一词. 到 70 年代初, Holland 教授提出了“模式定理”(schema theorem), 一般认为是遗传算法的基本定理, 从而奠定了遗传算法的基本理论. 1975 年, Holland 出版了著名的《自然系统和人工系统的自适应性》, 这是第一本系统论述遗传算法的专著. 因此, 也有人把 1975 年作为遗传算法的诞生年.

1985 年, 在美国召开了第一届两年一次的遗传算法国际会议, 并且成立了国际遗传算法协会 (International Society of Genetic Algorithms, ISGA). 1989 年, Holland 的学生 Goldberg 出版了《搜索、优化和机器学习中的遗传算法》一书, 总结了遗传算法研究的主要成果, 对遗传算法作了全面而系统的论述. 一般认为, 这个时期的遗传算法从古典时期发展到了现代阶段, 这本书则奠定了现代遗传算法的基础.

遗传算法是建立在达尔文的生物进化论和孟德尔的遗传学说基础上的算法, 它的核心与精髓是自然选择法则——适者生存. 在核心法则的作用下, 遗传算法通过选择、交叉、变异等遗传操作的更替来完成问题的寻优.

目前, 遗传算法的应用研究已渗透到许多学科, 并且几乎在所有的科学和工程问题中都具有应用前景, 涉及的领域包括复杂的非线性最优化问题、复杂的组合优化或整数规划问题、管道优化设计、通风网络的优化设计、飞机外形设计、桁架结构设计、超大规模集成电路的布线、图像处理、VLSI 设计以及社会科学的人类行为规范进化过程的模拟和人口迁移模型的建立等.

### 2. 粒子群算法

粒子群优化 (particle swarm optimization, PSO) 最早是由心理学研究人员 Kennedy 博士和计算智能研究人员 Eberhart 博士于 1995 年提出的, 它源于对鸟群觅食过程中的迁徙和群居的模拟. PSO 算法是基于群智能 (swarm intelligence) 方法的演化计算技术, 引入了“群”的概念, 它是一种基于群体的优化工具, 同时也是一

种基于迭代的优化工具。系统初始化为一组随机解,通过迭代搜寻最优值,粒子(潜在的解)在解空间追随最优的粒子进行搜索。在 PSO 中,采用信息共享机制,它有着简单容易实现,同时又有深刻的智能背景的特点。由于 PSO 算法概念简单,易于实现,所以短短几年时间,PSO 算法便获得了很大的发展,出现了很多改进的 PSO 算法,并且已经应用于多个科学和工程领域。目前已被“国际演化计算会议”(CEC)列为讨论专题之一。但由于 PSO 算法建立在对社会模型仿真的基础上,因此在方法提出初期并没有严格的数学基础,随着 Clerc 和 Van den Bergh 等研究成果的公开发表,PSO 算法的严格数学基础正在逐步建立。

### 3. 蚁群算法

蚂蚁算法 (ant algorithm) 是一种源于大自然中生物世界的新的仿生类算法,作为通用型随机优化方法,它吸收了昆虫王国中蚂蚁的行为特性,通过其内在的搜索机制,在一系列困难的组合优化问题求解中取得了成效。由于在模拟仿真中使用的是人工蚂蚁概念,因此,有时也被称为蚂蚁系统 (ant system)。据昆虫学家的观察和研究发现,生物世界中的蚂蚁有能力在没有任何可见提示下找出从其窝巢至食物源的最短路径,并能随环境的变化而变化,适应性地搜索新的路径,产生新的选择。作为昆虫的蚂蚁在寻找食物源时,能在其走过的路径上释放一种蚂蚁特有的分泌物——信息激素 (pheromone),使得一定范围内的其他蚂蚁能够察觉到,并由此影响它们以后的行为。当一些路径上通过的蚂蚁越来越多时,其留下的信息激素轨迹 (trail) 也越来越多,以致信息素强度增大(随着时间的推移会逐渐减弱),后来蚂蚁选择该路径的概率也越高,从而更增加了该路径的信息素强度,这种选择过程被称为蚂蚁的自催化行为。由于其原理是一种正反馈机制,因此,也可将蚁群系统理解成增强型学习系统。自从蚂蚁算法在著名的旅行商问题 (TSP) 和二次分配问题 (QAP) 上取得成效以来,已陆续渗透到其他问题领域中,如工件排序问题、图着色问题、车辆调度问题、大规模集成电路设计、通信网络中的负载平衡问题等。随着应用研究范围的扩大,蚂蚁算法越来越引起人们的重视。

### 4. 免疫算法

20 世纪 70 年代, Jerne 提出了免疫网络假说,给出了免疫网络的数学框架,这是人工免疫系统开创性的工作。随后在 80 年代, Farmer 基于免疫网络假说,构造了一个免疫系统的动态模型。生物免疫系统是一个具有复杂的抗病原体机理的独特系统。免疫系统的目标是识别所有体内的细胞(或分子)并区分是“自身”还是“非己”的,而“非己”的细胞被进一步分类以构造防御机理的合适种类。免疫系统通过进化学习辨别危险的外部物体(细菌、病毒等)和体内自身的细胞与分子,通过从不同种类的抗体中构造自身非己的非线性自适应网络,在处理动态变化环境中起

作用. 从计算的角度看, 生物免疫系统是一个高度并行, 分布, 自适应和自组织的系统, 具有很强的学习、识别、记忆和特征提取能力. 人们希望从生物免疫系统的运行机制中获取灵感, 开发出面向应用的免疫计算模型——人工免疫系统 (artificial immune system, AIS), 用于解决实际问题. 目前, AIS 已发展成为计算智能的一个新的分支. 其应用领域逐渐扩展到了模式识别、信息安全、智能优化、机器学习、数据挖掘、自动控制、故障诊断等诸多领域, 显示出人工免疫系统强大的信息处理和问题求解能力以及广阔的应用前景.

## 5. 其他群智能优化算法

### 1) 细菌觅食算法

细菌觅食算法 (bacteria foraging, BF) 是由 Passino 于 2000 年提出的一种基于群体的仿生随机搜索算法, 其生物学基础是人类肠道中大肠杆菌在觅食过程中体现出来的智能行为.

大肠杆菌自身有一个控制系统, 这个系统指导着其在寻找食物过程中的行为, 并对每一次状态的改变进行效果评价, 进而为下一次状态的改变方式 (如前进的方向和步长的大小) 提供信息. 在这个系统的控制下, 大肠杆菌将逐渐朝食物源的方向靠近. 生物学研究表明, 大肠杆菌的觅食行为主要包括以下步骤: ① 寻找可能存在食物源的区域; ② 决定是否进入此区域; ③ 在所选定的区域中寻找食物源; ④ 消耗掉一定量的食物后, 决定是否继续在此区域寻找食物或者迁移到一个更理想的区域. 细菌觅食算法正是分析并利用了 this 觅食过程而提出的一种仿生随机搜索算法. 类似于其他基于群体智能的随机搜索算法, 以细菌觅食算法求解优化问题时, 首先要对所求问题的解进行适当的编码, 然后充分利用群体的信息对个体进行操作, 在趋向性操作、复制操作和迁徙操作三个操作的更替执行下, 最终达到获得最优解的目的. 目前, 细菌觅食算法已经被用于电网电力预测、电压控制、多 Agent 系统和车间调度等领域.

### 2) Memetic 算法

Meme 表示存在于人脑中可以传递给他人的信息模式, 是人们在文化或思想交流时传播的信息单元. Memetic 则是指对 meme 的复制、传播和进化的理论与实践进行研究的科学. Moscato 等于 1989 年首次把 memetic 这一术语引入计算机科学领域. 以旅行商问题为背景, Moscato 等在 Agent 的竞争协作关系下讨论了模拟退火算法作为局部搜索与交叉算子相结合的组合优化方法. 尤其在许多众所周知的组合优化问题上, 这种方法对大量元启发式算法无法处理的问题得到了最优解. Moscato 最初提出的 Memetic 算法实质上是局部启发式搜索与交叉算子的结合体. 因此, 一些研究者把 Memetic 算法称为混合遗传算法 (hybrid genetic algorithm). 由于 Memetic 算法特别适合于多指令多数据流的并行计算机和分布计算系统, 它

---

也被称为并行遗传算法 (parallel genetic algorithm). 还有一些研究者称之为遗传局部搜索 (genetic local search). 尽管 Memetic 算法在实现细节上与遗传算法有很多相似之处, 但是由于 Memetic 算法更多的是从模拟文化进化的角度来进行算法的设计, 因此, 作者更倾向于把 Memetic 算法称为“文化基因”算法.





# 第一篇 遗传算法