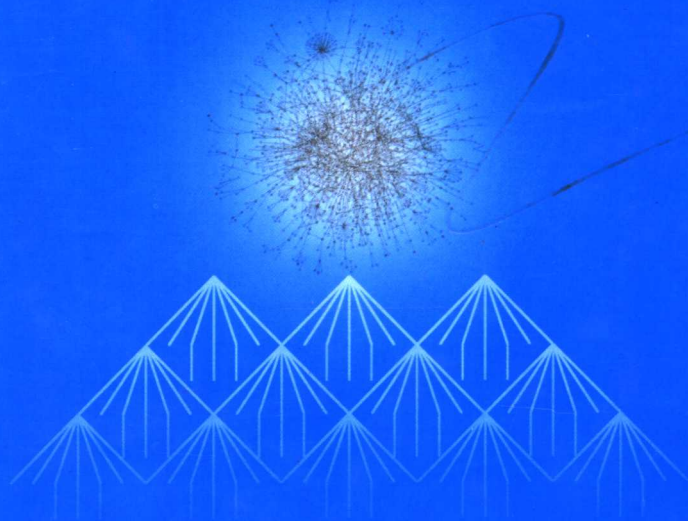


多目标进化算法 及其应用

Multiobjective Evolutionary
Algorithms and their Applications

崔逊学 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

TP301.6
59

多目标进化算法 及其应用

**Multiobjective Evolutionary Algorithms
and their Applications**

崔逊学 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

多目标进化算法及其应用/崔逊学著. —北京:国防
工业出版社, 2006. 6

ISBN 7-118-04555-1

I. 多... II. 崔... III. 多目标(数学)—算法
IV. TP301. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 053900 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 100044)

涿州市京南印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 11 字数 278 千字

2006 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 40.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

国防科技图书出版基金

第五届评审委员会组成人员

主任委员 刘成海

副主任委员 王 峰 张涵信 程洪彬

秘 书 长 程洪彬

副 秘 书 长 彭华良 蔡 镭

委 员 (按姓名笔画排序)

于景元 王小谟 甘茂治 刘世参

杨星豪 李德毅 吴有生 何新贵

佟玉民 宋家树 张立同 张鸿元

陈冀胜 周一宇 赵凤起 侯正明

常显奇 崔尔杰 韩祖南 傅惠民

舒长胜

前 言

多目标优化对于科学家和工程师来说无疑是一个非常重要的研究课题,因为现实问题大多具备多目标的特征,通常难以处理。过去在运筹学、决策学和计算机科学等学科涌现过很多种确定型或者随机化方法,专门用于求解多个指标的优化问题。现代计算设备的能力急剧提高,需要高计算速度和大内存的随机化搜索算法越来越受到青睐。模拟进化算法(Evolutionary Algorithms, EAs)就是其中的一类重要的随机化方法,这种算法已经被证明为不仅可以很好地处理复杂的单目标问题,而且也适用于解决多目标问题。在 20 世纪 80 年代中期进化算法开始应用于解决多目标问题,目前涌现了很多种多目标进化算法(Multiobjective Evolutionary Algorithms, MOEAs),一些已成功应用到工程实践,从而形成了最近的一个热门研究领域。本书介绍各种 MOEAs 的关键特征,并结合具体的实际应用情况介绍如何解决现实世界中的多目标优化问题,另外讨论 MOEAs 的理论研究问题和可能的发展方向。

根据达尔文的进化起源理论,进化发生在自然选择和自适应过程之中。基于这一生物学模型,在计算机科学界已经设计出很多种模拟进化的算法,主要包括遗传算法、进化规划和进化策略,它们特别适合于传统搜索算法不能很好处理的复杂、非线性问题。设计和构造新型的进化算法来解决多目标问题建立在单目标适应度函数优化的研究结果基础上,并且必须考虑多目标问题的特点,因而与传统的单目标进化算法在原理和算法结构上都有很大的区别。MOEAs 解决具体问题的应用既需要具备算法结构分析的基础,又要熟悉应用领域的相关问题背景和知识。

初学者往往存在一种误解,即只要将多目标优化中的不同指标根据权重组合成一个复合指标函数即可转化为单目标的线性规划问题。如果原问题有解,这种标量化方法或称权重法可以在与原问题相同的约束下求解。难点是实际中很难确定各个目标的相对权重,当事人难以量化各目标的侧重点或不能提供相应信息,而且一般希望多个目标之间相互非劣。因此,不能直接将多个目标线性组合成一个复合目标作为适应度函数,不能直接套用单目标进化算法的思想来求解。

另外,存在的一个疑惑是古典运筹学解决多目标规划问题已有几十年的历史了,为什么最近崭露头角的多目标进化算法更具有处理多目标问题的优势?从本质上来说,这要归功于计算机技术的发展,使得算法程序可以并行地运行,能够在海量的解空间实施随机定向搜索。多目标进化算法的优势主要体现在:第一,能够同时处理一组解,执行一次算法过程即可获得多个有效解;第二,对目标最优均衡面的形状和连续性不敏感,可以很好地逼近非凸性或不连续的均衡面,这也是进化算法相对传统优化方法的独特之处。本书针对 MOEAs 设计和应用中的各种问题进行阐述,包括相关的理论体系、试验测试和实际应用等。

利用 MOEAs 的理论方法解决现实世界的优化问题,刚开始时只是在学术界作为科学探索,发展到今天此类应用情况已经非常普遍。通过掌握本书介绍的理论和方法,读者可以针对自己的复杂应用问题胸有成竹地编写或者选择相应的算法软件和程序,并灵活地调整、裁减各种操作算子和参数,从而达到成功并高效地解决具体问题的目的。

本书从组织结构上分为八章和两个附录,主要内容介绍如下。

第 1 章主要介绍模拟进化算法的基本知识、多目标优化的起源以及各种基本概念的定义,概述多目标进化算法的发展历史,并列出国内外有关研究机构的网址供读者参考和深入跟踪相关内容的细节。第 2 章对目前已有的各种多目标进化算法进行系统划分,对主要算法的大致结构和优缺点进行阐述,并列出了 MOEAs 的

一些常用开源程序与软件工具。第3章探讨多目标进化算法的一些关键理论问题,包括适应度分配、多样性保持问题、收敛性分析、约束处理、对高维目标优化问题的求解、多目标遗传规划、偏好信息及其在算法设计中的应用。第4章分析多目标进化算法的性能评价和质量指标问题。第5章提供大量翔实的多目标优化问题的测试集,用于测试各种优化算法的性能和比较,并对测试问题进行讨论。第6章介绍目前流行的一些应用领域及实际案例,也是多目标进化算法的一些成功应用。第7章给出多目标进化算法的符号化表示,对算法操作算子和过程进行严密的数学描述。第8章介绍最新出现的其他智能化算法对多目标问题的解决情况,主要包括模拟退火和粒子群多目标进化算法的理论及其应用情况。附录A的内容包括多目标车间作业调度的实验源程序代码。附录B提供本书的英汉对照术语表。书中的一些内容取材于最近的国内外文献资料,各章后面都附有较多的参考文献,以便读者进一步查阅。

本书具有以下几点鲜明的特色。

(1)新颖性:本书反映当今智能计算方法解决多目标优化的最新研究进展,论述的各种算法和理论正是目前研究与应用的热点或将要引起人们关注的理论问题,内容新颖、丰富,可启发相关领域的研究人员开展自己的新研究方向。

(2)学术性:本书具有一定的理论高度和学术价值,书中大部分内容取材于国际、国内一流学术期刊发表的论文和作者的科研成果,细致而全面地展示国内外大量最新的科学研究内容和发展动向,具有一定的前瞻性和学术参考价值。

(3)应用性:内容容易理解,面向应用,尽量避免特别繁杂的数学理论推导,强调方法和模型在实际工程中的应用,为在各种学科领域中扩展应用和延伸提供新型的优化方法,软件工具的介绍方便读者对实际问题的模型分析与应用。对于新手设计、实现和应用多目标进化算法,本书提供所有必需的基础知识。

本书作者的研究工作得到了国家自然科学基金项目

(No. 60303027)、安徽省自然科学基金项目(No. 050420212)、南京大学计算机软件新技术国家重点实验室开放课题基金、苏州大学计算机信息处理技术重点实验室课题基金等的连续资助,在此表示深深的谢意!

中国科学技术大学博士生导师、中国科学院合肥智能研究所方廷健先生以及清华大学计算机科学与技术系林闯主任,对作者早期从事相关内容的科研工作提供了很多帮助,值此书出版之际表示衷心的感谢。另外,感谢曹一家、刘海林、赵曙光、夏蔚军和游进军等为本书的撰写提供了自己研究成果的第一手资料。

感谢解放军炮兵学院的学院领导和科研部对作者研究工作的鼎力支持,他们提供了培育人才的良好环境和富产科技硕果的土壤。

本书的出版工作得到了国防工业出版社唐应恒女士的帮助。另外,在本书的撰写过程中,黎明曦、刘蓁等参与了大量的编排工作,在此均表谢意。

由于作者水平所限,加之本书所涉及的内容仍处于不断的发展和变化之中,书中错误和不足之处在所难免,恳请专家、读者批评指正。

谨以我的辛勤耕耘,奉献给我挚爱的人们!

崔逊学

E-mail: xxcui@tsinghua.org.cn

2006年5月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 定义	4
1.3 示例	12
1.4 问题描述	14
1.5 模拟进化算法的基本知识	16
1.6 多目标优化的起源	27
1.7 古典的多目标优化方法	28
1.8 进化算法的引入	31
1.9 相关研究机构的网址	33
参考文献	37
第 2 章 主要的多目标进化算法	40
2.1 多目标进化算法回顾	40
2.1.1 算法分类	42
2.1.2 选择机制	42
2.2 隐式积木块类型算法	48
2.2.1 向量评估遗传算法(VEGA)	51
2.2.2 多目标遗传算法(MOGA)	52
2.2.3 小生境 Pareto 遗传算法(NPGA)	54
2.2.4 非劣分类遗传算法(NSGA)	55
2.2.5 孟德尔多目标简单遗传算法(MMOSGA)	57
2.2.6 微遗传算法(micro-GA)	58
2.2.7 Pareto 存档进化策略(PAES)	59
2.2.8 强度 Pareto 进化算法(SPEA)	62

2.2.9	Pareto 包络选择算法(PESA)	63
2.2.10	多目标遗传局部搜索算法(MOGLSA)	64
2.3	显式积木块类型算法	64
2.3.1	多目标杂乱遗传算法(MOMGA)	65
2.3.2	改进型多目标杂乱遗传算法(MOMGA-II)	66
2.4	常用开放源代码程序与软件工具	67
2.5	总结	70
	参考文献	74
第3章	多目标进化算法的关键理论	77
3.1	适应度分配	77
3.1.1	问题背景	80
3.1.2	基于适应度函数的选择	81
3.1.3	基于个体排序的适应度赋值	84
3.1.4	最优个体保留策略	85
3.2	多样性保持	86
3.2.1	策略分类	86
3.2.2	如何保持群体的多样性	88
3.2.3	小生境参数	90
3.2.4	多样性度量	92
3.2.5	基于免疫机制的多样性保持策略	94
3.3	收敛性	99
3.3.1	全局收敛性的特征	100
3.3.2	Pareto 近似解集与收敛性的关系	101
3.4	约束处理	105
3.4.1	约束问题描述	106
3.4.2	常用的约束处理方法	107
3.4.3	逆向可收缩 PAES 算法	109
3.4.4	均匀设计算法	114
3.5	高维目标空间的优化	121
3.5.1	多目标决策协调模型	122
3.5.2	多目标协调进化算法	127
3.6	多目标遗传规划	135

3.6.1	遗传规划的基本原理	136
3.6.2	并列选择方法	139
3.6.3	基于多目标优化的遗传规划模型	140
3.7	偏好信息及其应用	142
3.7.1	多准则决策方法回顾	142
3.7.2	描述形式	145
3.7.3	行为特征	147
3.7.4	偏好在多目标优化中的使用	149
	参考文献	154
第4章	算法性能评价	157
4.1	性能评价准则	157
4.2	运行时间分析	172
	参考文献	175
第5章	多目标优化问题测试集	177
5.1	无约束问题测试集	178
5.2	约束问题测试集	181
5.3	骗问题	191
5.4	离散型问题	194
5.5	现实问题	197
5.6	试验函数产生器	203
5.7	总结	206
	参考文献	207
第6章	应用实例	209
6.1	多目标进化算法在通信网络中的应用	210
6.1.1	互联网络单播服务质量路由	210
6.1.2	多播通信服务质量路由	220
6.1.3	多点网络设计	225
6.2	电力系统的非线性控制器设计	230
6.3	自适应分布式数据库管理问题	239
6.4	水资源优化调度	242
6.5	逻辑电路自动设计	248

6.6	多目标流水车间调度	253
6.7	基于进化算法的多准则决策支持系统	256
6.8	军事战术多目标计划的智能系统	260
	参考文献	266
第7章	符号描述	269
7.1	操作算子	270
7.2	子群体方法	272
7.3	小生境方法	274
7.4	算法结构的通用描述	276
	参考文献	278
第8章	求解多目标问题的现代方法	279
8.1	粒子群多目标优化算法	279
8.1.1	粒子群算法机理	280
8.1.2	粒子群算法的收敛性分析	283
8.2	多目标模拟退火	287
8.3	基于粒子群优化的多目标柔性车间作业调度	296
	参考文献	305
附录A	多目标车间作业调度源程序	306
附录B	英汉对照术语表	325

Contents

1	Introduction	1
1.1	Foreword	1
1.2	Definitions	4
1.3	Example	12
1.4	Question Descriptions	14
1.5	Basics of Evolutionary Algorithm	16
1.6	Origins of Multiobjective Optimization	27
1.7	Classical Methods of Multiobjective Optimization	28
1.8	Evolutionary Algorithms in Multiobjective Problems	31
1.9	Website Address of Related Research Agency	33
	Reference	37
2	Primary Multiobjective Evolutionary Algorithms	40
2.1	Review of Multiobjective Evolutionary Algorithms	40
2.1.1	Algorithm Class	42
2.1.2	Selection Mechanism	42
2.2	Implicit Building Block MOEAs	48
2.2.1	Vector Evaluated Genetic Algorithm (VEGA)	51
2.2.2	Multiple Objectives Genetic Algorithm (MOGA)	52
2.2.3	Niched Pareto Genetic Algorithm (NPGA)	54
2.2.4	Nondominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA) ...	55
2.2.5	Mendelian Multiobjective Simple Genetic Algorithm (MMOSGA)	57
2.2.6	Micro Genetic Algorithm (micro – GA)	58

2.2.7	Pareto Archived Evolution Strategy (PAES)	59
2.2.8	Strength Pareto Evolutionary Algorithm (SPEA)	62
2.2.9	Pareto Envelope – Based Selection Algorithm (PESA)	63
2.2.10	Multiobjective Genetic Local Search (MOGLS)	64
2.3	Explicit Building Block MOEAs	64
2.3.1	Multiobjective Messy Genetic Algorithm (MOMGA)	65
2.3.2	Multiobjective Messy Genetic Algorithm – II (MOMGA – II)	66
2.4	Open Source Code and Software Tools	67
2.5	Conclusion	70
	Reference	74

3 Theoretical Issues of Multiobjective Evolutionary

Algorithms	77
3.1 Fitness Assign	77
3.1.1 Background	80
3.1.2 Selection Based on Fitness Function	81
3.1.3 Fitness Assign Based on Individual Ranking	84
3.1.4 Elitist Preserving Strategy	85
3.2 Preserving Diversity	86
3.2.1 Strategy Class	86
3.2.2 How to Preserve Population Diversity	88
3.2.3 Niche Parameter	90
3.2.4 Diversity Evaluation	92
3.2.5 Diversity Preserving Strategy Based on Immune Mechanism	94
3.3 Convergence	99
3.3.1 Features of Global Convergence	100
3.3.2 Relation of Pareto Approximate Solutions and Convergence	101
3.4 Constraint Handling	105

3. 4. 1	Constraint Problems Description	106
3. 4. 2	Often Used Methods	107
3. 4. 3	Inverted – Shrinkable PAES	109
3. 4. 4	Uniform Design Algorithm	114
3. 5	High Dimensionality Objective Space	121
3. 5. 1	Multiobjective Decision Concordance Model	122
3. 5. 2	Multiobjective Concordance Evolutionary Algorithm	127
3. 6	Multiobjective Genetic Programming	135
3. 6. 1	Basic Principle of Genetic Programming	136
3. 6. 2	Parallel Selection Method	139
3. 6. 3	Multiobjective – based Genetic Programming Model	140
3. 7	Reference Information and its Application	142
3. 7. 1	Review of Multi – Criteria Decision Making	142
3. 7. 2	Description	145
3. 7. 3	Behavior Feather	147
3. 7. 4	Reference's Application in Multiobjective Optimization	149
	Reference	154
4	Performance Evaluation of Algorithms	157
4. 1	Performance Evaluation Criteria	157
4. 2	Running Time Analysis	172
	Reference	175
5	Multiobjective Optimization Test Suites	177
5. 1	Unconstrained Test Suites	178
5. 2	Constrained Test Suites	181
5. 3	Deceptive Problems	191
5. 4	Discrete Problems	194
5. 5	Real World Problems	197
5. 6	Test Function Generator	203