



几种改进的 智能优化算法及其应用

武装◎著



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

几种改进的智能优化算法及其应用

武 装 著



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

几种改进的智能优化算法及其应用 / 武装著. —北京: 科学技术文献出版社, 2018. 8

ISBN 978-7-5189-4781-2

I. ①几… II. ①武… III. ①计算机算法—最优化算法 IV. ①TP301.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 206217 号

几种改进的智能优化算法及其应用

策划编辑: 李蕊 责任编辑: 赵斌 责任校对: 张叫噪 责任出版: 张志平

出版者 科学技术文献出版社
地 址 北京市复兴路15号 邮编 100038
编 务 部 (010) 58882938, 58882087 (传真)
发 行 部 (010) 58882868, 58882870 (传真)
邮 购 部 (010) 58882873
官方网址 www.stdp.com.cn
发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销
印 刷 者 北京教图印刷有限公司
版 次 2018年8月第1版 2018年8月第1次印刷
开 本 710×1000 1/16
字 数 321千
印 张 19.75
书 号 ISBN 978-7-5189-4781-2
定 价 78.00元



版权所有 违法必究

购买本社图书, 凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

前 言

优化理论研究一直是一个非常活跃的研究领域。它所研究的问题是在众多方案中寻求最优方案。人们关于优化问题的研究工作，随着历史的发展不断深入，对人类的发展起到了重要的推动作用。但是，任何科学的进步都受到历史条件的限制，直到 20 世纪中叶，由于高速数字计算机应用日益广泛，使得优化技术不仅成为迫切需要，而且有了求解的有力工具。因此，优化理论和算法迅速发展起来，成为一门新的学科，至今已出现线性规划、整数规划、非线性规划、几何规划、动态规划、随机规划、网络流等许多分支。这些优化技术在诸多工程领域得到了迅速推广和应用，如系统控制、人工智能、生产调度等。随着人类生存空间的扩大，以及认识世界和改造世界范围的拓宽，常规优化方法，如牛顿法、共轭梯度法、模式搜索法和单纯形法等，已经无法处理人们所面对的复杂问题。因此，高效的智能优化算法成为科学工作者的研究目标之一。

智能算法是通过模拟或揭示某些自然界的现象和过程得到发展，在优化领域，有人将这类算法统称为智能优化算法。智能算法中最为耳熟能详的如遗传算法、粒子群优化算法、蚁群算法、模拟退火算法和万有引力搜索算法等。传统的优化算法能够解决很多工程、社会、经济建设中的实际优化问题，但是传统方法尚存在一些问题，如遇到涉及因素多、规模大、难度高的优化问题时存在多个局部最优解，并且可能存在多个不同的全局最优解。

几种改进的智能优化算法及其应用

例如，运输中的最优调度、资源最优分配、工程最优设计、农作物合理布局等。对于这些问题，无法借助传统的优化问题来解决，因为它在面对这些复杂问题时无能为力，无论是计算速度、收敛性还是初值敏感性等方面都不能满足需求。智能优化算法的产生在解决一些复杂问题时具有极强的应用性。从实际应用来看，智能优化算法不强行要求目标函数及约束条件的连续性，有些情况下，是否有表达式都不限制；同时，具有计算速度快、对计算中数据的不确定性具有比较强的适应能力等优势。本书针对几种智能优化算法的基本理论及优缺点做了一些研究，注重研究的原创性、学科的交叉性和内容的前沿性，研究的主要工作如下：

①无论在标准粒子群优化算法还是在改进粒子群优化算法中，都有一些参数需要设定，由于对不同的优化问题，在取得最优结果时参数的设置往往是不完全相同的。因此，本书对粒子群优化算法的参数设置和权重改进策略进行研究，可为粒子群优化算法的参数选取提供了一个理论上的指导和参考。粒子群优化算法及其众多改进算法在许许多多静态问题的优化上已经被成功运用了很多次，但是，在现实中，很多问题的环境都是随时间的变化而变化的，同时，要求算法要对环境的变化做出敏捷的反应。对于动态优化问题的要求已经不再是在变化的环境中寻求一个最优解，而是在解空间中跟踪动态变化的最优点。本书对粒子群优化算法的动态问题进行进一步研究。除此之外，多目标优化问题是指将要求解的优化问题中，有一个以上的目标函数，而且需要同时对所有的目标函数进行寻优。在现实生活中，我们所遇到的大多数问题都可以映射到多目标的数学模型中，如证券的投资组合问题、多目标背包问题等。

多目标不同于单目标的粒子群优化算法,单目标粒子群优化算法可以在粒子本身的历史最优和整个种群的历史最优中不断更新个体极值和全局极值,而多目标无法做到。因为多目标粒子群优化算法(MOPSO)不存在精准、单独的最优解。本书从定性和定量两个方面对MOPSO与NSGA-II(带精英策略的非支配排序遗传算法)进行了对比研究,并运用MOPSO对投资组合问题进行了实证分析,获得了投资组合问题的最优Pareto前沿,检验了算法的有效性;并将MOPSO算法运用在基于二层规划的企业信息化投资的问题上,证实了二层规划模型在企业信息化投资方面的可行性。

②对于问题的优化问题,要的结果都是寻找到解决方案中的最优解,用搜索算法来寻求最优解,收敛便是关键的一步。当要优化的函数是非平滑曲线的时候,像是一些基于梯度的传统算法用于函数最小化的时候,常常是不能够在搜索的最后收敛于全局最小的,这就使得它们在一些应用中没有了实际的意思。启发式的算法,像标准的万有引力搜索算法(GSA),是不受函数梯度约束的,在解决复杂优化问题中能够实现最小化的搜索,但标准的万有引力搜索算法在优化搜索的过程中会出现早熟收敛的现象,容易陷入局部最优解的情况。为此,对标准万有引力搜索算法的改进,提出了探测策略。随着探测能力的减弱,搜索能力反而要加强。除此之外,我们还探讨了基于模拟退火思想的万有引力搜索算法和混沌万有引力搜索算法。基于模拟退火思想的万有引力搜索算法将模拟退火算法与万有引力搜索算法相结合,引用了模拟退火的思想,针对粒子位置的更新,采用基于Metropolis准则的更新策略提高万有引力搜索算法的搜索能力,降低算法陷入局部

Q 几种改进的智能优化算法及其应用

最优解的概率。混沌万有引力搜索算法，由于在某种特定范围内的混沌运动会按照混沌本身的特点不重复的遍历所有状态，通过添加混沌因子来运行局部搜索，从而改进并优化算法的性能。改进算法时需要先把要优化因子映射到混沌的状态，优化因子的搜索空间需要由混沌运动的遍历范围逆映射过去，再通过混沌因子进行改进搜索。

③群体智能优化算法是一种模仿生物群体的智能搜索算法，提高了智能优化技能，为往后的复杂优化问题提供了较好的解决方案。蚁群算法是一种智能搜寻最短路径的概率型算法，运用信息激素当作蚂蚁选取往后行为的依据。蚁群算法具有极强的鲁棒性和易与其他算法相互结合等优点。虽然蚁群算法提出时间不长，但应用面很广，现已应用到许多范畴，蚁群算法已经成为智能优化学科中十分活跃的研究课题。我们探讨了蚁群聚类算法的数学模型，以及蚁群算法在多峰函数优化问题和 TSP 问题（旅行商问题）中的应用等。

④多年以来，免疫算法在各种领域都有许多的应用，免疫算法的研究成果已经涉及非线性最优化、组合优化等诸多领域，并且免疫算法在这些领域表现出了十分卓越的性能和效率。免疫算法在实际应用过程中也存在如稳定性较差、数据冗余、局部搜索能力有限等缺点。在免疫算法中，可以认为待求解的目标函数及约束条件代表免疫系统中的抗原，问题的可行解代表免疫系统对抗原产生的抗体，可行解的目标函数值代表免疫系统中产生的抗体与抗原之间的亲和度。免疫算法总是优先选择亲和度高、浓度小的抗体进入下一代抗体群，并以此来达到促进高亲和度抗体和抑制高浓度抗体的目的，并且在进化的过程中充分维持抗体多

样性。由此，免疫算法有效地避免了陷入局部最优解，并且提高了算法的局部搜索能力，加快了算法的收敛速度。我们探讨了基于免疫算法的复杂函数优化和免疫算法在 TSP 中的应用，通过免疫算法求解物流配送中心选址问题，获得了较好的实验结果。

⑤遗传算法可以自我学习和自我适应，其求解过程具有并行性，搜索能力强，算法的兼容性较好。我们建立一个通用的多元多次数学函数模型，这是一个通用的模型，可以给其中的变量赋值，来满足具体的生活需求。这个函数模型可以适用生产线最小生产资料问题、锅炉优化问题及交通规划最短距离问题。我们利用这个多元高次函数对改进后的遗传算法进行验证求解，求其最小值，结果表明，算法时长及系统反应时间都比较短，不管是收敛速度还是最终结果的精度都在我们的工作预期之内，这都证明了改进遗传算法的可行性。

本书由武装著。其中，参与整理工作的有富子豪、陈彤、林祎、林文娣、林静、李营营、符有带、廖伟、孙彬、李春辉等本科生和研究生，在此一并表示感谢。

作 者

2018 年 8 月

目 录

第一部分 粒子群优化算法

第一章 粒子群优化算法简介.....	3
1.1 研究的背景和课题的意义	3
1.2 粒子群优化算法的起源及研究现状	5
第二章 标准粒子群优化算法	12
2.1 粒子群优化算法.....	12
2.2 标准粒子群优化算法简介.....	14
2.3 粒子群优化算法基本流程.....	16
2.4 标准粒子群优化算法.....	17
2.5 粒子群优化算法组成要素.....	17
第三章 粒子群优化算法权重改进的策略研究	19
3.1 参数分析与选择.....	19
3.2 参数的选择.....	21
3.3 几种测试函数的简介.....	21
3.4 3 种权重改进策略	24
3.5 测试 3 种权重改进策略.....	27
第四章 动态粒子群优化算法	36
4.1 动态粒子群优化算法的流程.....	36
4.2 测试实验.....	37
4.3 实际路径与算法路径对比.....	49

Q 几种改进的智能优化算法及其应用

4.4 种群大小对收敛结果的影响测试	52
第五章 多目标粒子群优化算法	65
5.1 标准粒子群优化算法	65
5.2 改进的粒子群优化算法	69
5.3 多目标优化问题	70
5.4 多目标粒子群优化算法 (MOPSO)	73
5.5 经典的 NSGA-II 算法	74
5.6 仿真实验分析	74
5.7 MOPSO 在投资组合问题上的应用	87

第二部分 万有引力搜索算法

第六章 基本万有引力搜索算法简介	99
6.1 研究背景和课题意义	99
6.2 万有引力搜索算法的起源及国内外的研究现状	101
6.3 万有引力搜索算法原理	104
6.4 万有引力搜索算法步骤	108
6.5 万有引力搜索算法的参数分析	109
6.6 基本万有引力搜索算法	109
6.7 万有引力搜索算法的模型	111
6.8 对标准万有引力搜索算法的改进	112
6.9 仿真实验与测试	116
6.10 改进的万有引力搜索算法验证及结果分析	122
6.11 万有引力搜索算法在多目标函数优化中的应用	131
第七章 基于模拟退火思想的万有引力搜索算法	138
7.1 基于 Metropolis 准则的位置更新策略	138
7.2 基于模拟退火的万有引力搜索算法	139
7.3 测试函数介绍	140
7.4 测试函数的参数及空间模型	140

7.5 仿真实验与结果分析	146
第八章 混沌万有引力搜索算法	168
8.1 混沌算法	168
8.2 混沌万有引力搜索算法原理	170
8.3 仿真实验与分析	173
8.4 混沌万有引力搜索算法的验证与结果分析	180
8.5 4 种算法在测试函数中的实验数值	194

第三部分 蚁群算法

第九章 蚁群算法	201
9.1 研究背景与国内外现状	201
9.2 蚁群算法基本原理及分析	202
9.3 蚁群算法的数学模型及实现	203
9.4 蚁群算法参数研究	206
9.5 蚁群聚类算法及其改进	211
9.6 蚁群算法在多峰值函数优化问题中的应用	216
9.7 蚁群算法在 TSP 问题中的应用	227

第四部分 免疫优化算法

第十章 免疫优化算法	235
10.1 国内外研究现状	235
10.2 免疫算法的基本原理	238
10.3 测试函数及空间模型	246
10.4 基于免疫算法的函数优化	252
10.5 免疫算法在 TSP 问题中的应用	259

第五部分 遗传算法

第十一章 改进的遗传算法·····	267
11.1 研究背景和国内外研究现状·····	267
11.2 遗传算法概述·····	269
11.3 遗传算法理论基础·····	271
11.4 仿真实验分析·····	275
11.5 遗传算法的改进·····	287
11.6 遗传算法最优化问题实例·····	290
参考文献·····	295
致 谢·····	303

第一部分 粒子群优化算法

第一章 粒子群优化算法简介

1.1 研究的背景和课题的意义

优化理论研究一直是一个非常活跃的研究领域。它所研究的问题是在众多方案中寻求最优方案。人们关于优化问题的研究工作，随着历史的发展不断深入，对人类的发展起到了重要的推动作用。但是，任何科学的进步都受到历史条件的限制，直到 20 世纪中叶，由于高速数字计算机应用日益广泛，使得优化技术不仅成为迫切需要，而且有了求解的有力工具。因此，优化理论和算法迅速发展起来，成为一门新的学科。至今已出现线性规划、整数规划、非线性规划、几何规划、动态规划、随机规划、网络流等许多分支。这些优化技术在诸多工程领域得到了迅速推广和应用，如系统控制、人工智能、生产调度等。随着人类生存空间的扩大，以及认识世界和改造世界范围的拓宽，常规优化方法，如牛顿法、共轭梯度法、模式搜索法、单纯形法等，已经无法处理人们所面对的复杂问题。因此，高效的优化算法成为科学工作者的研究目标之一。

优化问题的定义为：根据已经设定的某些条件，设置一组参数值，使得某些指标达到最值——最大值或最小值。优化问题应用于很多方面，如在城建规划问题中，如何确定工厂、学校、医院、商店、机关等各种单位的合理布局，才能最大化地方便群众，促进城市各行业的发展。优化理论始终是一个研究火热的话题，它是指在搜索范围内寻找能最大限度满足问题的方案。随着计算机科学的出现，将优化理论研究的热潮推上了一个新的高度，计算机成为优化技术中必不可缺的一环，也是最关键的一环。因此，优化理论迅速丰满扩大，演变成一门学科。包括线性规划、几何规划等，都是包括在优化理论里。这些优化技术在应用领域被迅速推广，人工智能和生产调度等就是最好的例子。随着人们对优化技术的深入研究，普通单一的优化理论已经无法满足人们的需求，这也推进了人们对优化算法的研究，以解决更加复杂

几种改进的智能优化算法及其应用

的问题。

20 世纪 80 年代后,不同于传统优化算法的智能优化算法势如破竹般地得到了发展。顾名思义,“智能”二字便是由于其最为突出的特点是透过自然界的一些物理现象和导致此种物理现象形成的过程而形成的。智能算法中最为耳熟能详的有模拟退火算法、神经网络算法、万有引力搜索算法等。各国学者对优化问题的研究一直都没有间断。英国科学家在 17 世纪研究微积分的时候,就提出了极值这个概念。1939 年,苏联数学家 Kantorouicz 为了研究生产组织中的问题,进一步规划研究并发表了《生产组织与计划中的数学方法》等论文,而这篇论文是关于线性规划研究最早的文章。1947 年,法国数学家 Cauchy 研究了函数值沿哪个方向下降最快的问题,并在此基础上提出了“最快下降法”。以上提到的 3 种方法都可以称为传统的优化方法。传统的优化算法能够解决很多工程、社会、经济建设中的实际优化问题,但是传统方法尚存在一些问题,如遇到涉及因素多、规模大、难度高的优化问题时存在多个局部最优解,并且可能存在多个不同的全局最优解。例如,运输中的最优调度、资源最优分配、工程最优设计、农作物合理布局等。对于这些问题,无法借助传统的优化问题来解决,因为它在面对这些复杂问题时无能为力,无论是计算速度、收敛性还是初值敏感性等方面都不能满足需求。

20 世纪 80 年代以来,一些新颖的有别于传统的优化算法得到了迅速发展。人工神经网络(ANN)在一定程度上模拟了人脑的组织结构;遗传算法(GA)借鉴了自然界优胜劣汰的进化思想;模拟退火(SA)思路源于物理学中固体物质的退火过程。这些算法有个共同点:都是通过模拟或揭示某些自然界的现象和过程得到发展。在优化领域,有人将这类算法统称为智能优化算法。智能优化算法的产生在解决一些复杂问题时具有极强的应用性。从实际应用来看,智能优化算法不强行要求目标函数及约束条件的连续性,有些情况下,是否有表达式都不限制;同时,具有计算速度快、对计算中数据的不确定性具有比较强的适应能力等优势。这类算法目前发展较好的有遗传算法、蚁群算法及模拟退火算法等。

通过进化计算方法对动态系统进行优化研究,最早可追溯到 1966 年,但是直到 20 世纪 80 年代,众多学者才开始投入这一领域的研究。从此以后,对各种算法的不同改进方法不断涌现。在粒子群优化算法及其他计算智能类的方法中,对动态问题的描述通常体现在适应度函数曲面动态变化上。

动态环境的变化存在很多的可能性，如环境变化的不确定性、变化的幅值、变化频率、对于非连续变化下两次变化之间的周期间隔等。这些不确定因素和动态因素的存在，就要求寻优算法具有相应的灵活性来检测和响应环境的动态特性。

粒子群优化算法及其众多改进算法在许许多多的静态问题的优化上，已经被成功运用了很多次，但是，在现实中，很多问题的环境都是随时间的变化而变化的，同时，要求算法要对环境的变化做出敏捷的反应。对于动态优化问题的要求已经不再是在变化的环境中寻求一个最优解，而是在解空间中跟踪动态变化的最优点。从 2000 年开始，粒子群优化算法逐渐被运用于动态环境的优化问题中。到目前为止，粒子群优化算法在解决动态优化问题的研究仍然在进行中，并不断取得新的成就。本章在粒子群优化算法理论研究的基础上，对目前粒子群优化算法在动态问题上的应用进行进一步研究。

1.2 粒子群优化算法的起源及研究现状

1.2.1 粒子群优化算法的发展历史

粒子群优化算法（Particle Swarm Optimization, PSO）又称为微粒群优化算法，是智能优化算法的一种，源于对鸟群觅食过程中的迁徙和聚集的模拟。它收敛速度快、易实现，并且仅有少量参数需要调整，因而一经提出就成为智能优化与进化计算领域的一个新的研究热点，目前已经被广泛应用于目标函数优化、动态环境优化、神经网络训练、模糊控制系统等许多领域。其中，最具应用前景的领域包括多目标问题的优化、系统设计、分类、模式识别、生物系统建模、规划、信号处理、决策和模拟等。

PSO 是近些年时兴的一种进化算法。与其他进化算法比较，其容易实现、算法结构简单、收敛快、精度高等优势引起了计算机行业专家的关注。随着研究的细节化和深入化，发现 PSO 的前景广泛。学者和专家针对 PSO 提出了各种改进和优化的方法和方向，可以应用在以函数优化、模式分类、神经网络训练为主的各种领域。PSO 的理论背景是“人工生命”。人工生命（Artificial Life）是用来研究具有某些生命基本特征的人工系统，其中一个重要部分是利用生物技术来研究计算问题。PSO 的诞生来源于社会系统，社会系统的研究集中于简单个体组成的群落与环境之间的关系，以及个体之间的