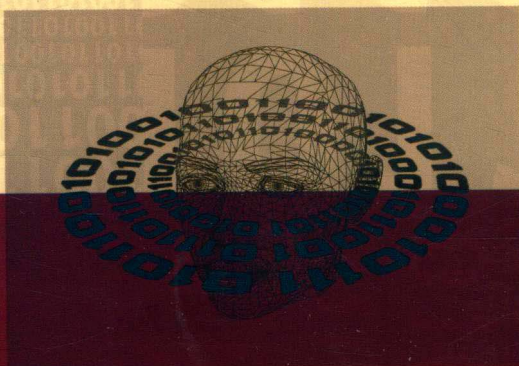


辽宁省教育厅高校基本科研项目

项目名称：辽宁省农村季节性剩余劳动力动态估算方法及其分布规律研究

项目编号：LQW201715407

二进制遗传算法的 改进研究



朱会霞◎著



東北大學出版社
Northeastern University Press

高校基本科研项目

项目编号: JQW201715407

二进制遗传算法的改进研究

朱会霞 著

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 朱会霞 2017

图书在版编目 (CIP) 数据

二进制遗传算法的改进研究 / 朱会霞著. — 沈阳 :
东北大学出版社, 2017. 12

ISBN 978-7-5517-1762-5

I. ①二… II. ①朱… III. ①二进制运算—研究
IV. ①TP301.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 325330 号

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路三号巷 11 号

邮编: 110819

电话: 024-83683655(总编室) 83687331(营销部)

传真: 024-83687332(总编室) 83680180(营销部)

网址: <http://www.neupress.com>

E-mail: neuph@neupress.com

印 刷 者: 沈阳市第二市政建设工程公司印刷厂

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 170mm × 240mm

印 张: 10.5

字 数: 197 千字

出版时间: 2018 年 3 月第 1 版

印刷时间: 2018 年 3 月第 1 次印刷

组稿编辑: 周文婷

责任编辑: 孙德海

责任校对: 潘佳宁

封面设计: 潘正一

责任出版: 唐敏志

ISBN 978-7-5517-1762-5

定 价: 56.00 元

前言



遗传算法是智能优化算法中比较重要的方法之一，是一种基于自然选择和基因遗传学原理的全局优化算法。它具有群体搜索特性，对优化目标函数无要求，仅用适应度函数来评价个体优劣。自遗传算法诞生起，人们就对其进行了研究。随着遗传算法理论的发展和应用的广泛，人们对其提出了种种改进方案，这些改进方案在一定程度上提高了算法的性能，但仍有一些不足有待进一步改进和完善。在研究现有遗传算法文献时，笔者发现了如下问题。

① 现有文献中遗传算法的进化策略一般都是“父代精英个体保留—选择—交叉—变异—替换精英个体”。这种遗传操作方式，即使在交叉操作过程产生了优秀个体，优秀个体也可能会在变异过程中被破坏。如何使产生的优秀个体能够保留下来，就是现有进化策略需要改进的方面。

② 遗传算法寻优时间往往比较长，如何减少寻找到最优解的时间，以提高算法收敛速度，是现有遗传算法需要改进的方面。

③ 现有遗传算法，要求最优解必须包含在给定的初始区间内。如果当前给定区间内不包含最优解，那么优化问题只能找到当前区间内的较优解，无法求得决策变量初始区间以外的全局最优解。如何求得给定上下限以外的最优解，也是现有遗传算法需要探讨的问题。

④ 有些实际优化问题，无法预知最优解所在区间，对于这类优化问题，初始区间如何设置，是现有遗传算法需要解决的。

⑤ 二进制遗传算法在求解连续决策变量优化问题时，实质是对连续决策变量的离散化处理。区间长度增加，相同长度的二进制编码所能表示的求解精度就会降低，如果被优化的目标函数对这种“损失”是敏感的，那么求得最优解的精度就会大打折扣。这就是如何降低二进制遗传算法对连续变量优化时的离散误差问题。

针对以上问题，本书对遗传算法进行了研究。首先介绍了遗传算法的基本原理与操作，并介绍了其理论基础；在此基础上，对遗传算法进行了改进研究，提出了多子代遗传算法和区间自适应遗传算法，并将所作的改进研究综合

应用于实际优化问题。

本书采用先进行理论分析，然后用计算机仿真验证理论分析的正确性，最后将正确的理论应用于实际优化问题的研究方法，以此增强遗传算法的理论性和适用性，希望本书对于遗传算法的发展及应用能具有很好的理论指导意义与应用价值，并可以较好地推动遗传算法的完善和发展。取得的主要研究成果如下。

① 给出了一种根据求解精度和区间长度确定编码长度的计算公式。

本书给出的计算公式，可以得到以求解精度和区间长度为依据的所需的最小编码长度，避免了搜索空间增加造成搜索效率降低的问题，也避免了编码长度太短造成离散误差的问题。

② 改进进化策略的遗传算法保留了交叉产生的优秀个体，防止了交叉产生的优秀个体在变异操作中被破坏，因而可使算法收敛到最优解的速度有较大提高。

交叉操作是遗传算法产生优秀个体的主要途径。本书研究提出了一种改进的进化策略，在精英个体保留操作时，保留父代个体与交叉产生个体中的精英个体。该方法有效防止了交叉得到的优秀个体有可能在变异过程中遭到破坏这一现象，因而可使遗传算法的性能得到较好的改善，运算速度比传统进化策略遗传算法明显提高。

③ 提出了多子代遗传算法。

生物学中，生物的生存斗争既包括种间竞争，又包括种内竞争。具有较强繁殖能力的物种，种群内部竞争会加剧，只有适应环境的优秀个体才会在激烈的竞争中生存下来。而且一个高生殖率进行较短的时间，和一个低生殖率进行较长的时间，会得到相同的结果。为了能在最短的时间内得到更加优良的个体，需要提高物种的生殖率。受这一现象启发，本书提出了一种多子代遗传算法，即两个父代个体产生两个以上子代个体。多子代遗传算法产生的子代个体数量是传统遗传算法的 2 倍，增加了优秀个体产生的可能，种内竞争更为激烈，因此比传统遗传算法的性能有较好的改善。

④ 区间自适应遗传算法解决了无法预知最优解所在区间的优化问题，降低了二进制遗传算法对连续决策变量的离散误差，提高了最优解的精度。

本书研究给出了一种区间自适应遗传算法。该算法可以从任意初始区间出发，利用当前搜索区间的种群信息，自适应移动搜索区间，向最优解所在区间靠拢，并最终找到全局最优解。正是由于搜索区间可以在整个搜索空间内自由移动，故可以根据编码精度适当缩短区间的长度。选取符合编码精度要求的区

间长度，既降低了算法的计算量，又能提高解的精度。区间自适应遗传算法既可以提高二进制遗传算法找到最优解时解的精度，也为无法预知最优解相关信息的优化问题提供了一条有效、可行的求解途径。

⑤ 通过深入的研究对遗传算法进行了改进，并采用了理论分析与实际应用相结合的方法，将改进的方法应用于无约束和有约束函数优化问题、神经网络权值与阈值的优化问题、种植业结构优化与资源最佳分配问题，得到了较好的结果。

最后，在总结全书的基础上，进行了展望。

朱会霞

2017年9月

目录



1 引言	1
1.1 研究目的与意义	1
1.2 国内外研究现状	4
1.2.1 遗传算法的研究现状	5
1.2.2 二进制遗传算法的研究现状	12
1.3 研究的主要内容、方法和技术路线	18
1.3.1 研究内容	18
1.3.2 研究方法和路线	19
2 遗传算法的基本原理与操作	21
2.1 遗传算法的基本用语	21
2.2 遗传算法的数学模型和基本原理	22
2.2.1 遗传算法的数学模型	22
2.2.2 遗传算法的基本原理	23
2.3 编码方法	25
2.4 初始化种群	27
2.5 适应度函数	28
2.6 选择操作	32
2.7 交叉操作	34
2.8 变异操作	38
2.9 停机条件	40
2.10 本章小结	41
3 遗传算法的理论基础	42
3.1 相关概念及定义	42

3.2 模式定理	44
3.2.1 选择对模式的影响	44
3.2.2 交叉对模式的影响	45
3.2.3 变异对模式的影响	46
3.3 积木块假设	48
3.4 本章小结	48
4 遗传算法的改进研究	49
4.1 码长的确定和编码	49
4.2 初始种群的产生	53
4.3 个体适应度函数设计	57
4.3.1 两种基于序的适应度函数计算方法与模型	57
4.3.2 两种基于序的适应度函数模型的比较	59
4.4 进化策略的改进	64
4.4.1 基本遗传算法的进化策略	64
4.4.2 传统遗传算法的进化策略	64
4.4.3 改进遗传算法的进化策略	65
4.5 改进进化策略 GA 的测试与分析	69
4.5.1 测试函数与参数选择	69
4.5.2 测试结果与分析	69
4.6 本章小结	70
5 多子代遗传算法研究	72
5.1 多子代遗传算法的生物学原理	72
5.2 单点交叉多子代遗传算法	73
5.2.1 单点交叉多子代遗传算法的产生方法	73
5.2.2 单点交叉多子代种内竞争操作	75
5.2.3 单点交叉多子代遗传算法的进化策略	75
5.2.4 单点交叉多子代遗传算法的测试与分析	76
5.3 两点交叉多子代遗传算法	78
5.3.1 两点交叉多子代遗传算法的产生方法	78
5.3.2 两点交叉多子代遗传算法的测试与分析	80
5.4 多子代遗传算法	81
5.4.1 多子代遗传算法的产生方法	81

5.4.2 多子代遗传算法的测试与分析	82
5.5 本章小结	84
6 区间自适应遗传算法研究	85
6.1 区间自适应遗传算法的基本思路	86
6.2 自适应移动搜索区间方法	87
6.3 区间自适应遗传算法的进化策略	89
6.4 算法的收敛性分析	91
6.5 本章小结	92
7 综合应用实例	93
7.1 函数优化中的应用	93
7.1.1 函数优化问题的描述	94
7.1.2 无约束函数优化问题	94
7.1.3 有约束函数优化问题	98
7.2 神经网络权值与阈值的优化问题	105
7.2.1 BP 算法描述	106
7.2.2 IAGA 优化 BP 神经网络权值和阈值思想	108
7.2.3 IAGA 优化 BP 神经网络权值和阈值算法描述	108
7.2.4 基于 BP 神经网络的联合收获机惯性分离室工艺参数优化实验	110
7.3 种植业结构优化与资源最佳分配问题	118
7.3.1 种植业结构优化与资源分配的数学模型	118
7.3.2 种植业结构优化与资源分配模型的实例计算	119
7.3.3 仿真参数及模型求解	122
7.4 基于马尔可夫模型的东北三省产业结构预测	123
7.4.1 马尔可夫预测模型	123
7.4.2 东北三省产业结构的预测	124
7.5 本章小结	128
8 结论	130
参考文献	133
附 录	154

1 引言

1.1 研究目的与意义

随着社会、经济和科技的不断发展,人们遇到的问题越来越复杂,很多问题需要在复杂而庞大的搜索空间中寻找最优解或准优解,因此人们迫切需要寻找一种更好的求解方法。传统数值优化方法的计算构架带来了一些难以克服的局限性,如:传统优化方法都是以单点方式进行计算的,限制了计算效率;对所解决问题的数学模型要求较高,一般要求是连续或可导的凸函数,可行域是连通的或凸集等,很多复杂优化问题的数学模型不能满足这一要求。针对传统优化方法的不足,多年来,人们希望通过对某些自然规律的探索,得到更加实用、更加贴近真实大自然、能更好地模拟大自然自适应性的算法。人们将生物界中具有智能性、自组织性、自学习性的行为用计算机进行仿真模拟,提出了一些现代优化方法。这些方法的产生都来自大自然的灵感——生物进化。进化计算的“算法簇”基本上划分为三个分支:遗传算法(genetic algorithms, GA)、进化策略(evolutionary strategies, ES)和进化规划(evolutionary programming, EP)。其中研究最为深入、持久,应用最为广泛的是模拟自然界生物进化过程中“优胜劣汰”机制的遗传算法。遗传算法的蓬勃发展体现了近代科学技术发展多学科相互交叉、相互渗透、相互影响的特点。作为一种全局优化与搜索算法,遗传算法对于求解高度复杂及非线性的问题是一种非常有效的方法,在各个领域得到了广泛应用,取得了良好的效果,并逐渐成为一种重要的智能算法,也是智能优化方法中应用较为广泛和比较成功的算法。

遗传算法是基于自然遗传学机理的参数搜索优化方法,是一种非确定性的随机优化算法,用数学方法模拟自然选择和遗传现象。适者生存法则消除了个体的不适应因素,随机信息交换理论利用了父代群体中有价值的信息,通过选择、交叉、变异,产生一群更适应环境的个体,加快了搜索过程,是一种具有良好稳健性、灵活性、通用性、多点并行计算等特点的优化方法。与传统的优

化算法相比，它的主要优点是群体搜索策略和群体中个体之间的信息交换。具有搜索不依赖于梯度信息、只需要目标函数是可计算的特点。这一特点，传统的优化算法无法相比。特别适合高度非线性、不连续等复杂系统的优化问题，在工农业生产、机器学习、人工神经网络的权系数调整、网络构造、过程控制、经济预测和工程优化等领域的应用已取得了比较大的成功，其卓越性能引起了数学、物理学、化学、计算机科学、社会科学、经济学及工程应用领域科学家们的极大兴趣。它是一种不同于以往任何一种寻优方法的具有强鲁棒性的高效寻优方法。与普通的优化方法相比，几乎包括了进化算法的全部优点。遗传算法的特点主要如下^[1]。

① 遗传算法具有群体搜索特性。许多传统搜索方法都是单点搜索，而遗传算法是以由许多可能解组成的种群开始搜索的，其初始解几乎可以遍布整个可行域，所以有可能找到全局最优解。

② 遗传算法仅用适应度函数来评估基因个体，并在此基础上进行遗传操作，不需要其他推导和附属信息，因而对问题的依赖性较小，求解的鲁棒性较好。

③ 遗传算法对所求解问题的数学模型基本无要求，不需要目标函数的解析性质，只要求目标函数是可计算的，因而应用广泛。

④ 遗传算法具有内在启发式搜索特性。它不是穷举法，也不是完全的随机测试，而是用概率变迁规则对搜索方向进行引导，其复制、交叉和变异等遗传操作方式都是以概率方式进行的，以概率方式使搜索过程能够向搜索空间中好的区域移动。虽然看起来似乎是一种无目的的随机搜索方法，实际上却有明确的目标。只要染色体选择恰当、进化操作方式合适，就可以很快地找到全局最优解。

⑤ 并行计算是遗传算法的主要特点之一。

⑥ 对于多变量、目标函数比较复杂的优化问题，较适合用遗传算法求解。

⑦ 实践和理论都已经证明了，在一定条件下，遗传算法总是以概率 1 收敛于问题的最优解。

尽管前面已经介绍了遗传算法的许多优点，人们对遗传算法也进行了种种改进，这些都反映了人们寻找有效解决优化问题的思想和追求完美的迫切愿望，但遗传算法毕竟是一门新技术，正处于发展的重要时期，虽然在理论和应用方面都取得了较大成就，但其理论和方法尚未成熟，算法自身的一些不足和缺点也有待于进一步改进和完善，有许多地方需要研究、发展和充实，这些不

足和缺点也成为遗传算法发展的瓶颈,很大程度上影响了遗传算法的应用。遗传算法理论亟待研究和改进的地方,主要有以下几方面。

① 遗传算法的时间复杂度往往比较高,有时需要大量的时间,所以需要提高寻优的速度,降低寻找到最优解的时间。

② 现有文献中遗传算法进化策略的遗传操作方式,即使在交叉操作过程产生了优秀个体,优秀个体也可能在变异过程中被破坏,如何使产生的优秀个体能够保留下来是一个问题。

③ 有些实际问题无法确定最优解所在搜索区域,只能在较大的搜索区域甚至整个搜索空间上进行搜索,这样就会耗费大量的计算时间,对于这类优化问题,需研究初始区间如何设置的问题。

④ 现有二进制遗传算法,要求最优解必须包含在给定的初始区间内。如果当前给定区间内不包含最优解,那么优化问题只能找到当前区间内的较优解,无法求得决策变量初始区间以外的全局最优解。如何求得给定上下限以外的最优解,也是现有二进制遗传算法需要探讨的问题。

⑤ 二进制遗传算法在求解连续决策变量优化问题时,实质是对连续决策变量的离散化处理,区间长度增加,相同长度的二进制编码所能表示的编码精度就会降低,如果被优化的目标函数对这种“损失”是敏感的,那么求得最优解的精度就会大打折扣。这就是如何降低二进制遗传算法对连续变量优化时的离散误差问题。

为了使遗传算法得到更加广泛的应用,应该针对以上不足和缺陷,对遗传算法进行改进。遗传算法理论研究已经取得了很大进展,表现出良好的应用前景。根据德国多特蒙德(Dortmund)大学1993年的一份研究报告,据不完全统计,遗传算法已在16个大领域250多个小领域得到了应用,其实际应用已经渗透到了各行各业。在这种火热的背景下,为了设计出更好的可以收敛到全局最优解且收敛速度快的算法,应该仔细研究这些改进方案的优缺点,认真地分析和学习各种各样的改进方案,研究新理论来设计或生成新颖有效的算法形式,采用合理有效的进化策略。所以,遗传算法的改进研究与理论分析具有重要的理论意义和应用价值,正是如此,笔者才选择了遗传算法作为自己的研究课题。

二进制遗传算法特别适合于只能用二值向量描述的问题,如组合优化问题、桁架结构拓扑优化问题和PID控制器参数优化问题等^[2-9]。本课题重点研究二进制遗传算法的改进,研究其关键操作对二进制遗传算法性能的影响,研

究二进制遗传算法进化策略的改进方案及这些改进方案融合的效果等,提高二进制遗传算法的有效性和收敛性,提高二进制遗传算法找到最优解的速度,减少寻优时间,从而得到性能比较好的、比较通用的二进制遗传算法,进而使二进制遗传算法能够更加广泛地应用到实际问题,解决实际问题中遇到的困难。提出一种多子代遗传算法和区间自适应遗传算法(the interval adaptive genetic algorithm, IAGA),以解决现有遗传算法无法求得最优解在给定初始区间以外这种情况的问题,解决有些问题最优解所在区间难以估计的问题,而且可以根据需要适当缩短搜索区间长度,降低了二进制编码对连续决策变量优化的离散误差。

本书将理论分析与实际应用相结合,增加了二进制遗传算法的适用性,对于二进制遗传算法的改进、发展及应用具有很好的现实意义,为推动二进制遗传算法的完善和发展作了一点贡献。

1.2 国内外研究现状

遗传算法起源于对生物系统所进行的计算机模拟研究,早在 20 世纪 40 年代,就有学者进行了这项研究。1975 年,美国密歇根(Michigan)大学的 John H. Holland 教授发表了第一本比较系统论述遗传算法的专著 *Adaption in Natural and Artificial system*^[10],系统阐述了遗传算法的基本理论和方法,提出了遗传算法的基本定理——模式定理,从而奠定了遗传算法的理论基础,被公认为是遗传算法诞生的标志。同年,De Jong 以函数优化问题为例,对遗传算法的性能进行了分析,使遗传算法的操作更加系统化。Goldberg D. E. 在 *Genetic algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*^[11]一书中对遗传算法进行了归纳总结,形成了遗传算法的基本框架,使得遗传算法得以推广和应用。20 世纪 90 年代,Davis L. D. 在 *Handbook of Genetic Algorithms*^[12]一书中,总结了众多遗传算法的研究经验,列举了遗传算法应用在工程技术和生活中的实例,从此遗传算法进入了快速发展阶段。90 年代以后,经典著作和研究文献的出现,使遗传算法的理论越来越成熟,其应用价值也随之增加。以遗传算法、进化计算为主题的国际会议也在世界各地定期召开。1985 年,第一届国际遗传算法会议 ICGA'85(International Conference on Genetic Algorithm)在美国成功召开,第一届遗传算法与分类系统研讨会于 1990 年在美国印第安那大学召开,以后每两年召开一次,一些国际性期刊也开始出版遗传算法方面的专刊。

我国有关遗传算法的研究,自20世纪90年代以来,一直处于不断上升阶段。自2006年,以中国知网统计来看,每年有6000篇以上关于遗传算法方面的文章发表,而且国内许多学者也出版了遗传算法方面的专著,如1996年陈国良等出版了《遗传算法及应用》,1999年周明、孙树栋出版了《遗传算法原理及应用》等,这些都说明了我国在遗传算法的研究领域取得了令人瞩目的成果。现在,无论是遗传算法的理论研究^[13-16]还是应用研究^[17-21]都是非常热门的课题,它不但解决了传统数学难题,而且被应用到各个领域^[22-25],取得了较好的效果。

近年来,学者们对于遗传算法做了各种研究和改进,不同的编码方式和遗传算子就构成了不同的遗传算法。从编码方式来分,主要有二进制编码遗传算法、实数编码遗传算法、顺序编码遗传算法、链表编码遗传算法、DNA编码遗传算法等^[26-28];从进化策略角度来讲,有单亲遗传算法、双亲遗传算法和多亲遗传算法。每种遗传算法都有其不同的适用领域和适用的问题。目前,所有这些改进方案各有利弊,究竟使用何种遗传算法还要根据实际问题考虑。

1.2.1 遗传算法的研究现状

1.2.1.1 理论研究现状

针对遗传算法的种种不足,学者们做了许多研究,其目的在于推动遗传算法的发展,增强遗传算法的种群可进化性能力,即使当前种群能产生比现有个体更好的个体,使得整个算法的性能有所提高。

(1) 有关编码策略的研究

近年来,学者们对遗传算法的编码进行了多种改进。Serkan等^[29]对二进制、四进制、八进制等编码方式的有效性、鲁棒性进行了综述,讨论了自适应交叉和变异算子,得出每一种编码方法都有其各自的优点,但不同的编码方法应该适用于不同的问题。Yang X. H.等^[30]提出了一种混沌格雷编码方法优化非线性对流扩散方程。动态参数编码^[31]克服了遗传算法搜索效率与表示精度之间的矛盾,同时对过早收敛现象也有所帮助。Lu H.等^[32]用混沌非支配排序遗传算法,解决多目标自动测试任务调度问题,提出了一种新型的集成编码方案,这种编码方案把任务处理序列和占用每个任务的工具的信息都集成到一个染色体上。谭冠政等^[33]证明了基于复数编码的遗传算法具有更强的进化能力。刘伟等^[34]提出了一种基于矩阵编码的最优服务选择遗传算法,将矩阵视为染色体个体,将矩阵的列视为染色体基,有效地解决了复杂的多对多选择关系的

表示问题。夏传甲等^[35]提出一种基于实数编码的遗传算法,证明了实数编码的遗传算法的搜索效率和可靠性。

(2) 有关遗传控制参数的研究

种群规模、交叉概率、变异概率等遗传控制参数的选取对算法的性能影响很大。为了选择合适的种群规模、交叉概率和变异概率,许多学者对此进行了系统的研究。

针对初始群体的设定,何大阔等^[36]利用均匀设计的等价准则提出了一种简化计算的近似获得均匀初始种群的方法。黎耀等^[37]提出了采用 Hash 函数对初始种群进行优化,提高了检测的准确性。史明霞^[38]借鉴生物遗传学种群之间竞争和合作模型,提出了多种群协同演化遗传算法,利用竞争和合作模型处理群体规模问题。Li Y. M. 等^[39]采用多种群并行搜索模式,当子群的工作量不不同时,每个子种群规模自适应改变子群的大小。刘伟等^[40]引进了主种群和辅助种群的双种群遗传算法,用余弦函数来刻画半径参数的变化,提出了基于半径参数周期性缓慢变化的双种群遗传算法。

对于交叉概率和变异概率,沐阿华等^[41]提出了快速自适应遗传算法,针对海明距离自适应调整交叉操作的频率。Zhang J. 等^[42]对种群进行 k 聚类分析,表明自适应遗传算法具有更好的鲁棒性和更高的计算效率。李慧贤等^[43]提出了基于信息熵的交叉概率计算方法。董丽丽等^[44]提出了一种改进的遗传算法,使用云模型实现交叉概率和变异概率的自适应调节。Wang L. ^[45]提出了改进的自适应遗传算法,以生物体的激素调节机制自适应交叉概率和变异概率,解决了车间作业调度的最小完工时间问题。

(3) 遗传算子的研究

常用的遗传算子有选择、交叉和变异等,遗传算子的研究是遗传算法理论研究中最为活跃的领域,改进的目的是保证算法的全局收敛性和提高算法的计算效率。

选择操作对算法的计算效率影响很大,它与编码方式无关。简单遗传算法不是全局收敛的,在选择过程中引入精英保留操作即可实现遗传算法的全局收敛。Potts 概括了大约 20 多种选择方法,主要有以下几类^[46]: ① 比例选择。包括轮盘赌选择、期望值选择、Boltzmann 选择等。② 基于排序的选择。其特点是个体被选择的概率由个体在种群中排序的位置决定,与目标函数的值无关,仅与排列的顺序有关。优点是可以不必顾及目标函数的正负和具体值,不需要加入目标函数以外的任何参数。③ 基于局部竞争的选择。适合于种群规

模特别大的情况下,可以减少计算量,在一定程度上减少了搜索停滞现象。

陈友文^[47]提出了一种基于排序的多轮轮盘赌选择算子,在提高算子选优能力的同时也减少了随机性选择所产生的误差。陈皓等^[48]提出了基于竞争指数的模拟退火排序选择算子,依据竞争指数对群体及其后代进行排序,该算子能够显著改善进化的算法抗早熟能力,同时提高种群的搜索效率和稳定性。杨世达等^[49]提出了基于亲缘选择的遗传算法,该算法构造选择算子是通过按亲缘关系放弃一个解而获得另一个解来保证算法在最优解领域内的有效搜索。庄健等^[50]用反映复杂系统能量分布的幂律法则改造了选择算子,提高了算法的效率。刘国帅等^[51]提出了一种对原种群中优秀个体进行比例复制的方法。Boris Pavez-Lazo 等^[52]在遗传算法中使用一个确定性的选择算子,即父代个体是根据一个既定战略选择的,应用于机组组合问题,取得了较好的效果。Tang K. Z. 等^[53]提出为了在一些不可行解的邻近区域找到可行解,在选择算子中加入局部搜索过程的一种新的选择策略,每一个个体用一个由目标函数值、行为约束程度和行为约束数量组成的三维特征向量表示。杨侃等^[54]在自适应遗传算法的基础上,采用三角函数对适应值进行了非线性转化,提出了一种基于三角函数选择算子的遗传算法,求解梯级水库优化调度问题。

交叉操作与编码方式有关,其目的是使个体之间的信息进行交换从而产生更好的个体。针对交叉操作,近年来学者们做了大量的改进。Cai Z. X. 等^[55]提出单形交叉算子进行局部搜索。Garcias-Martinez C^[56]等提出了几种选择交叉父本个体和交叉概率的机制。Tohka 等^[57]提出了调和交叉算子。Kusum Deep 等^[58]从拉普拉斯分布函数出发,设计了一种拉普拉斯交叉算子,使子代群体能自适应父代群体的变化。Lu H. 等^[59]提出了基于优先权的交叉算子。Wang Y. 等^[60]使用固定的正交表来安排父代个体的交叉操作,且因素分割的位置是随机产生的。Garcia-Martinez C 等^[61]将父代个体分为雄性父代个体和雌性父代个体,其中雌性父代个体对交叉操作产生子代的贡献更大。Nedim Tutkun^[62]通过高斯分布的概率分布函数有效地调整实数编码交叉算子来生成不同的字符串,用改进的牛顿法增强局部搜索技术,求解多模态连续函数优化问题。江中央等^[63]提出了一种自适应正交交叉算子,根据父代个体的相似度自适应地调整正交表的因素个数和对父代个体进行因素分割的位置,生成具有代表性的子代个体,以更好地搜索空间。范青武等^[64]通过优化控制交叉子代的落点位置,将交叉定向到能获得优秀解的区间,提出了一种有向交叉遗传算子,使交叉子代大概率地朝着最优解的方向进化。Ting C.^[65]提出了基于多个父代个体的部

分映射交叉算子,用于解决组合优化问题。庄健等^[50]基于生物进化中环境与生物体的作用与反作用机制以及“趋同进化”理论设计了环境-基因的双演化交叉算子。针对约束优化问题,Wang L.等^[45]采用了一种新的交叉算子,即单亲遗传操作确保产生可行解。刘大莲等^[66]提出了一种新的遗传算法,算法将种群中的可行解和不可行解分别存贮在两个容器中,设计了内外交叉法,尽量让可行域内的可行解与可行域外的不可行解交叉,并顺着有利的方向一维搜索到可行域边界,提高了算法的收敛速度。张瑜等^[67]以适应值为向导提出一种交叉方法,引入进程实现个体不等概率地产生新个体,保持整个种群的多样性。

变异操作的作用是可能恢复个体失去的或未被开发的基因,保持种群中个体的多样性,防止“早熟收敛”。邵惠鹤^[68]根据混沌理论关于进化与混沌的关系,设计了一种采用混沌变异算子的进化算法,并提出“尺度收缩”的变异策略,明显改善了种群平均适应值。Kusum Deep等^[69]提出了一种基于功率分布的变异算子——功率变异算子。Ling S. H.^[70]提出了基于小波理论的小波突变。陈峰等^[71]依据生物进化中有向选择的特点,提出了一种定向变异算子,提高了遗传算法解决连续型欺骗问题的能力。Martin Serpell等^[72]提出了一些变异概率自适应设定的方法。巩敦卫等^[73]利用用户认知的不确定性选择待变异的进化个体、确定变异位置以及变异方法等,提高了交互式遗传算法的性能。Murat A等^[74]设计了贪婪子巡回变异算子,在已知的旅行商问题中找到最短距离。Chen X.^[75]和 Wang K. T.等^[76]为了提高遗传算法的寻优性能,将个体通过碱基编码成生物分子,借鉴生物分子操作来提高遗传算法的搜索效率和寻优性能。Tang P. H.等^[77]融入定向搜索策略和自适应随机搜索策略,提出自适应定向变异算子,用于解决复杂函数优化问题。变异算子还有可调变异算子、自适应高斯变异算子,如免疫变异算子、混沌变异算子等。

还有很多遗传算子的改进方法,这里不详细叙述。但这些选择算子、交叉算子和变异算子的改进对遗传算法的性能均有一定的改善。

(4) 有关算法收敛性分析

收敛性对于优化问题求解具有重要的理论意义。近几年,遗传算法的收敛性问题在 Markov 链数学工具的指导下已取得了突破性进展。Rudolph^[78]用齐次有限 Markov 链证明了基本遗传算法收敛不到全局最优解,而精英保留遗传算法可以收敛到全局最优解。明亮等^[79]利用 Markov 链的一个特殊的 minorization 条件,给出了 n 进制编码的经典遗传算法收敛速度的一个上界,分析了种群的