

遗传算法与工程设计

〔日〕玄光男
程润伟 著

科学出版社

遗传算法与工程设计

〔日〕玄光男 著
程润伟

汪定伟 唐加福 黄敏 译

科学出版社

2000

图字：01-1999-2768

内 容 简 介

遗传算法是将生物学的遗传进化原理和最优化技术结合的产物,它在国民经济的各个行业和多个学科里获得了广泛的应用和关注。本书着重从计算方法和应用技术的角度对遗传算法作了深入浅出的讨论。书中介绍了遗传算法的基本概念和结构,解决约束优化和组合优化问题的方法,以及遗传算法在生产调度、可靠性设计、交通运输、设备布局等一系列工业工程问题中的应用。

本书可作为高等院校的工业工程、管理科学、运筹学、计算机科学和人工智能专业的本科生和研究生的教科书。对于系统分析员、运行研究员、管理科学家以及在工业工程与运筹学领域里从事最优化问题研究和应用的专业技术人员,本书也不失为一本内容丰富且实用性较强的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

遗传算法与工程设计/[日]玄光男,程润伟著;汪定伟等译.-北京:科学出版社,2000

书名原文: Genetic Algorithms and Engineering Design

ISBN 7-03-007511-0

I. 遗… II. ①玄… ②程… ③汪… III. 遗传算法-应用 IV. TB21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 11916 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

中国科学院印刷厂 印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

2000年1月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2000年1月第一次印刷 印张:19 1/8

印数:1—2 500 字数:428 000

定价:29.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈北燕〉)

译者的话

最优化技术在国民经济的各个领域里获得了广泛的应用。近年来,以遗传算法、模拟退火、禁忌搜索以及人工神经网络为代表的智能化优化技术发展迅速,受到人们的普遍关注。其中,遗传算法以其优良的计算性能和显著的应用效果而特别引人注目。

遗传算法将生物进化的原理与最优化技术和计算机技术结合起来,创造了一种全新的优化方法,开辟了一个全新的研究领域。更为难能可贵的是,遗传算法在工业工程、经济管理、交通运输、工业设计等许多领域里获得了广泛的应用。

美国 John Wiley & Sons 出版社 1996 年出版的日本足利工业大学的玄光男(Mitsuo Gen)和程润伟(Runwei Cheng)的英文著作《遗传算法与工程设计》是一本从计算和应用的角度介绍遗传算法的新书。本书在介绍遗传算法的基本理论和概念的基础上,着重讨论了遗传算法的计算技术。书中用统一的符号和术语介绍了近年来散见于文献中的遗传算法的各种应用问题和计算方法,理论上深入浅出,应用上脚踏实地,堪称为一本理论与实际完美结合的好书。书中的内容包括遗传算法的主要构成及其在工业工程和制造系统设计中的优化问题中的应用。本书可作为高等院校的工业工程、管理科学、运筹学、计算机科学和人工智能专业的本科生和研究生的教科书。对于系统分析员、运行研究员、管理科学家,以及在工业工程和运筹学领域里从事研究和应用的专业技术人员,本书也不失为一本内容丰富且实用性较强的参考书。

为了尽早将此书奉献给我国的广大读者,推进我国遗传算法的研究和应用,在原书作者的支持和帮助下,我们及时将此书译成了中文,并在科学出版社出版。在此谨向原书作者玄光男、程润伟博士,表示衷心的感谢!

译者在国家自然科学基金的资助下正在从事智能优化方法及其在生产计划调度中应用的研究工作,本书的翻译出版是我们研究工作的一部分。在此也向支持我们这项研究的国家自然科学基金委员会和东北大学领导表示诚挚的谢意!

本书共分十章,前言和第一至第三章由汪定伟翻译;第四至第七章由唐加福翻译;第八至第十章由黄敏翻译。最后由汪定伟校阅、定稿。由于我们水平所限,译本中错误和疏漏之处在所难免,恳请广大读者指正。

译者

1998 年 9 月于东北大学,沈阳

前 言

遗传算法(GA)是基于进化论的原理发展起来的一种广为应用的、高效的随机搜索与优化的方法。在过去的几年里,遗传算法学界将其注意力集中在工业工程中的优化问题上,从而形成了遗传算法的研究与应用相结合的新的主体。

本书的内容包括遗传算法的主要构成及其在工业工程和制造系统设计中的难解优化问题中的应用。本书可作为专业人员的自学用书,或作为大学和高等院校的工业工程、管理科学、运筹学、计算机科学和人工智能专业的本科生和研究生的教科书。此外,对于系统分析员、运行研究员、管理科学家及工程师,以及一切面临着工业工程与运筹学中的难解的最优化问题挑战的专业人员,本书则是一本内容丰富且实用性强的参考书。虽然近年来已经出版了几本十分不错的遗传算法的专著,但本书却是对遗传算法在工业工程和运筹学中的应用状况进行统一描述和全面综述的第一本书。

在本书中,我们总结了自1992年以来遗传算法及相关研究的成果,并按算法的类别对选材作了重新组织。但是,由于目前人们对遗传算法的了解还远不成熟,因此本书没有对现有的遗传算法的理论展开深入讨论。我们希望读者能从这些用遗传算法求解工业工程和运筹学的实际问题的方法中学到有用而必要的知识和技术,从而获得益处。

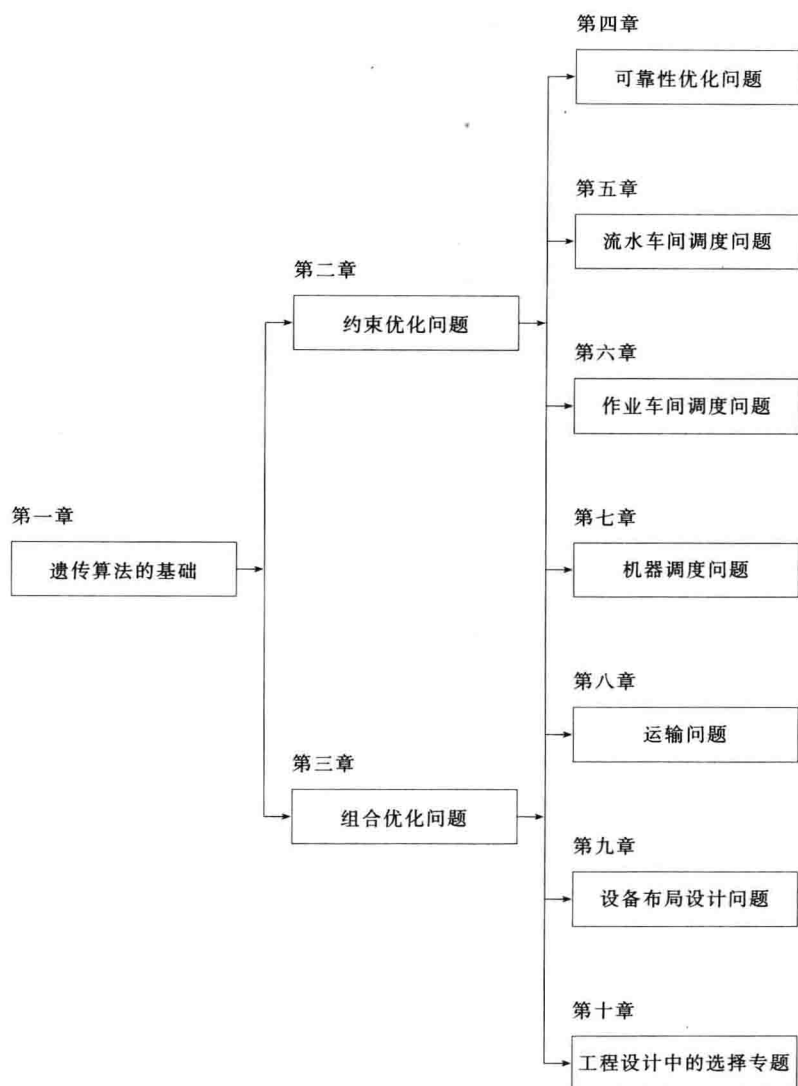
众所周知,对于初学者来说绝大多数遗传算法的专业论文是不易读懂的,因为每个作者都习惯于使用自己的表达方式、术语和符号。本书则统一了所有选材的术语和符号,纠正了其中的错误;特别注重表达的清晰、易懂和可读性。所有的算法都尽可能用自然的语言、图表和计算例子来说明,而尽量避免使用难懂的技术术语。

用本书作为课程教材是十分合适的,因为书中没有采用深奥的数学,绝大多数内容要求的数学未超过大学低年级的水平。对于各个问题,本书主要介绍问题的背景、历史、定义、公式,以及其他求解技术的研究进展。介绍的重点则是应用遗传算法求解问题的新的研究成果。本书自成体系,各专题相关的领域知识也包含在本书之内。

本书选材组织有很大的灵活性。第一至第三章为读者提供了必要的基础知识。余下七章几乎都是独立成章的,但它们都以前三章的材料为基础。全书的体系如下页图所示。

第一章是关于遗传算法的基本概念的。其中介绍的遗传算法的修正的一般结构能更好地反映遗传算法的现行实际情况。对编码问题的深入讨论则为读者对遇到的实际问题设计适当的染色体描述方式提供了一些有助益的观点。此外,本章还从算法的角度对选择策略作了全面的综述。

众所周知,实际生活中许多工业工程的设计问题是非常复杂的,很难用传统的优化方法来解决。近年来,遗传算法作为一种新的优化技术已经受到了广泛的注意。第二章讨论遗传算法在解无约束优化、非线性规划、随机规划、目标规划,以及区间规划等问题中的应用。第三章说明如何解组合优化问题,包括背包问题、二次指派问题、最小支撑树问题、旅行商问题,以及影片递送问题。当然,从这些问题中发展起来的遗传算法的技术对于其他



组合优化问题同样也是适用的。特别是旅行商问题通常作为组合优化难题的典范,许多新方法都用它来测试检验。由于许多难解的工程优化问题都可归结为约束优化或组合优化问题,因此,前三章可以作为读者进一步阅读后续章节中感兴趣问题的遗传算法的基础。

第四章介绍如何解可靠性优化问题,包括具有多种故障模式的冗余系统的可靠性问题。这类问题要考虑冗余单元和替代设计,模糊的目标和约束,以及冗余的混合元件的问题。

第五章讨论如何解流水车间的排序问题。第六章则综合介绍近年来用遗传算法求解作业车间调度问题的文献。作业车间问题在组合优化中是最难的,它吸引了许多遗传算法的研究者的兴趣。这一章里,我们的注意力放在作业车间调度的基因表达方案上。用遗传算法解作业车间问题的研究为约束组合优化问题提供了丰富的经验。所有由作业车间调度发展起来的技术对于现代柔性制造系统的其他调度问题以及其他的组合优化问题或许

都是有用的。第七章讨论如何应用遗传算法求解其他非规则的调度准则下的单机或多机调度问题。机器调度问题是一个充满希望的研究领域,它在制造系统、后勤供应和计算机体系结构等领域里有着广泛的应用。

第八章研究如何解交通问题,包括双判据线性交通问题、双判据整体交通问题,以及模糊多判据整体交通问题。在这一章发展起来的技术可以推广到其他多判据(多目标)优化问题中。

第九章说明遗传算法能够成功地用到各种机器与设备布置的问题中。20年来,设备布置设计一直是一个多学科关注的课题。由于设备布置问题的组合优化的本质,遗传算法已成为解决实际规模的布置问题的最有希望的方法之一。

第十章讨论几个工业工程设计的选题,包括有资源约束的工程排序问题、定址-分配问题、有障碍的定址-分配问题,以及生产计划问题。这些问题大多比前几章讨论的问题要复杂得多。这些材料能加深读者对遗传算法的理解,提高他们应用遗传算法的能力,并激发他们将遗传算法应用到自己的工作中去。我们希望本书能为遗传算法的普及、提高和更广泛的应用做出贡献。

我们首先衷心地感谢 John Wiley & Sons 出版社“工程设计与自动化丛书”的编辑, *Engineering Design and Automation* 杂志的主编, Louisville 大学的 Hamid R. Parsaei 博士,感谢他给我们提供了为这个新丛书写这本书的机会。我们还衷心地感谢 *Computers & Industrial Engineering* 杂志的主编, Iowa 大学的 Hamed K. Eldin 博士,感谢他为作者之一提供了在上述杂志中主编“遗传算法与工业工程专集”的机会。这本专集激发了我们面向工业工程研究遗传算法的兴趣和干劲。

本书来自我们和我们的同事和朋友的大量讨论。为此我们衷心感谢: Kansas 州立大学的 C. L. Hwang 博士和 Frank A. Tillman 博士, Pennsylvania 州立大学的 Inyong Ham 博士, Nabrasa-Lincon 大学的 Sang M. Lee 博士, Texas A&M 大学的 Way Kuo 博士, Wayne 州立大学的 Gary S. Wasserman 博士, Pittsburgh 大学的 Alice E. Smith 博士, Puerto Rico-Mayaguez 大学的 Gursel A. Suer 博士, 浦项科技大学的 Moo Young Jung 博士, 韩国科学技术院的黄鹤(Hawk Hwang)博士, 中国科学院的徐伟宣博士和顾基发博士, 中国东北大学的杨自厚博士, Thammasat 大学的 Suebsak Nanthavanij 博士, 龙谷大学的人见胜人博士, 大阪府立大学的田中英夫博士、太田宏博士、市桥秀友博士和石渊久生博士, 名古屋大学的福田敏男博士和古桥武博士, 广岛大学的坂和正敏博士, 东京工业大学的小林重信博士和长尾智晴博士, 岗山大学的大崎一博士, 东京都立大学的 Andrzej Osyczka 博士, 东京都立科学技术大学的山崎源治博士, 明治大学的向殿政男博士, 庆广义塾大学的福川忠昭博士, 大阪工业大学的和多田淳三博士, 东海大学的中西祥八郎博士, 电气通讯大学的松井正之博士, 足利工业大学的小林敏孝博士、山城光雄博士、井田宪一博士、辻村泰宽博士和横田孝雄博士。

我们还特别感谢我们的博士研究生周根贵和龚弟金,他们仔细地校对了本书的手稿。我们还感谢足利工业大学的研究生: 田口雄章、程春辉、李银珍、九保田爱丽卡、郑大伟和李银秀,在过去的几年里,他们和我们一起做了大量创造性的工作。

自然,我们还要感谢许许多多的研究者,本书的许多概念和观点都来自于他们的工

作。虽然不能一一提及他们的名字,我们希望能通过书后的参考文献表达出他们的贡献。

与 John Wiley & Sons 出版社的编辑和印刷人员一起工作的确是件愉快的事,特别要提到的是丛书的执行编辑 Robert L. Argentieri 先生,以及 Allison Ort Morvay 先生和 Minna Panfili 小姐。

我们还要感谢我们的妻子玄英子和张丽英,以及我们的孩子们,是他们的爱心、鼓励、理解和支持在我们写这本书时伴随我们度过了无数个夜晚和周末。

足利工业大学 玄光男

程润伟

1996 年 4 月

目 录

第一章 遗传算法的基础	(1)
1.1 引言	(1)
1.1.1 遗传算法的一般结构	(1)
1.1.2 探索与扩展	(3)
1.1.3 基于种群的搜索	(3)
1.1.4 亚-启发式	(4)
1.1.5 主要优点	(4)
1.1.6 遗传算法词汇	(5)
1.2 简单的遗传算法举例	(5)
1.2.1 最优化问题	(5)
1.2.2 配词问题	(11)
1.3 编码问题	(13)
1.4 选择	(15)
1.4.1 采样空间	(15)
1.4.2 采样机理	(17)
1.4.3 选择概率	(19)
1.4.4 选择压力	(22)
1.5 混合遗传算法	(23)
1.5.1 Lamarck 进化	(23)
1.5.2 元算法	(24)
1.6 遗传算法学界的重要事件	(25)
1.6.1 遗传算法的著作	(25)
1.6.2 学术会议与研讨会	(26)
1.6.3 遗传算法的杂志与杂志专集	(28)
1.6.4 互联网上公共访问的遗传算法信息	(29)
第二章 约束优化问题	(31)
2.1 无约束优化	(31)
2.1.1 Ackley 函数	(31)
2.1.2 用遗传算法极小化 Ackley 函数	(32)
2.2 非线性规划	(35)
2.2.1 满足约束	(36)
2.2.2 惩罚函数	(37)
2.2.3 遗传运算	(42)
2.2.4 计算例子	(45)
2.3 随机优化	(47)

2.3.1	数学模型	(47)
2.3.2	Monte Carlo 仿真	(48)
2.3.3	随机优化问题的进化程序	(49)
2.4	非线性目标规划	(53)
2.4.1	非线性目标规划的公式化	(54)
2.4.2	非线性目标规划的遗传算法	(54)
2.4.3	数值例子	(56)
2.5	区间规划	(58)
2.5.1	引言	(58)
2.5.2	遗传算法	(62)
2.5.3	数值例子	(66)
第三章	组合优化问题	(68)
3.1	引言	(68)
3.2	背包问题	(68)
3.2.1	二进制表达法	(69)
3.2.2	顺序表达法	(70)
3.2.3	变长表达法	(71)
3.3	二次指派问题	(72)
3.3.1	编码	(72)
3.3.2	遗传算子	(73)
3.4	最小生成树问题	(74)
3.4.1	问题的描述	(75)
3.4.2	树的编码	(75)
3.4.3	遗传算法方法	(78)
3.5	旅行商问题	(82)
3.5.1	表达	(83)
3.5.2	交叉算子	(84)
3.5.3	变异算子	(88)
3.6	影片递送问题	(90)
3.6.1	表达	(90)
3.6.2	遗传运算	(91)
第四章	可靠性优化问题	(93)
4.1	引言	(93)
4.1.1	系统可靠性的组合特性	(93)
4.1.2	多种失效模式的可靠性优化模型	(95)
4.1.3	可选设计的可靠性优化模型	(96)
4.2	可靠性优化的简单遗传算法	(97)
4.2.1	问题的表述	(97)
4.2.2	遗传算法与计算实例	(98)
4.3	冗余单元和可选设计的可靠性优化	(101)

4.3.1 问题的表述	(101)
4.3.2 遗传算法与计算实例	(102)
4.4 冗余混合元件的可靠性优化	(106)
4.4.1 问题的描述	(106)
4.4.2 遗传算法与计算实例	(108)
4.5 模糊目标和模糊约束的可靠性优化	(110)
4.5.1 问题的描述	(110)
4.5.2 遗传算法与计算实例	(112)
4.6 区间系数的可靠性优化	(114)
4.6.1 问题的描述	(115)
4.6.2 遗传算法	(117)
4.6.3 计算实例	(119)
第五章 流水车间调度问题	(122)
5.1 引言	(122)
5.2 两台机器的流水车间问题	(123)
5.3 一般 m 台机器流水车间问题的启发式方法	(124)
5.3.1 Palmer 启发式算法	(124)
5.3.2 Gupta 启发式算法	(124)
5.3.3 CDS 启发式算法	(125)
5.3.4 RA 启发式算法	(125)
5.3.5 NEH 启发式算法	(125)
5.4 Gen-Tsujimura-Kubota 方法	(126)
5.4.1 表达方法	(126)
5.4.2 评估函数	(126)
5.4.3 交叉与变异	(126)
5.4.4 实例	(127)
5.5 Reeves 方法	(128)
5.5.1 初始种群	(128)
5.5.2 遗传算子	(129)
5.5.3 选择	(129)
5.5.4 计算实例	(130)
5.6 Ishibuchi-Yamamoto-Murata-Tanaka 方法	(131)
5.6.1 模糊流水车间问题	(131)
5.6.2 混合式遗传算法	(132)
5.6.3 计算实例	(133)
第六章 作业车间调度问题	(135)
6.1 引言	(135)
6.2 古典作业车间模型	(136)
6.2.1 整数规划模型	(137)
6.2.2 线性规划模型	(138)

6.2.3 图模型	(139)
6.3 传统启发式方法	(139)
6.3.1 优先分配启发式方法	(140)
6.3.2 随机分配启发式	(141)
6.3.3 瓶颈移动启发式方法	(142)
6.4 作业车间调度问题的遗传算法	(142)
6.4.1 表达方法	(142)
6.4.2 讨论	(151)
6.4.3 混合式遗传搜索	(153)
6.5 Gen-Tsujimura-Kubota 方法	(158)
6.6 Cheng-Gen-Tsujimura 方法	(160)
6.7 Falkenauer-Bouffouix 方法	(162)
6.8 Dorndorf-Pesch 方法	(163)
6.9 计算结果与讨论	(164)
第七章 机器调度问题	(166)
7.1 引言	(166)
7.1.1 单机调度问题	(166)
7.1.2 提前/拖期(E/T)调度问题	(169)
7.1.3 并行机器调度问题	(171)
7.2 Cleveland-Smith 方法	(173)
7.2.1 遗传算子	(173)
7.2.2 选择	(174)
7.3 Gupta-Gupta-Kumar 方法	(174)
7.3.1 评价函数	(175)
7.3.2 替代策略	(175)
7.3.3 收敛性策略	(175)
7.3.4 总体步骤	(175)
7.4 Lee-Kim 方法	(176)
7.4.1 表达法	(177)
7.4.2 并行子种群	(177)
7.4.3 交叉与变异	(178)
7.4.4 评估与选择	(178)
7.4.5 并行遗传算法	(179)
7.5 Cheng-Gen 方法	(179)
7.5.1 表达法与初始化	(179)
7.5.2 交叉	(180)
7.5.3 变异	(181)
7.5.4 确定最好交货期	(183)
7.5.5 评价与选择	(184)
7.5.6 计算实例	(184)

第八章 运输问题	(186)
8.1 引言	(186)
8.2 线性运输问题	(186)
8.2.1 LTP 的描述	(186)
8.2.2 表达方式	(188)
8.2.3 遗传运算	(189)
8.3 双准则线性运输问题	(192)
8.3.1 BLTP 的描述	(192)
8.3.2 评估	(192)
8.3.3 总体过程	(193)
8.3.4 数值实例	(195)
8.4 双准则三维运输问题	(196)
8.4.1 BSTP 的描述	(196)
8.4.2 初始化	(197)
8.4.3 遗传运算	(198)
8.4.4 数值实例	(199)
8.5 模糊多准则三维运输问题	(200)
8.5.1 问题描述	(200)
8.5.2 遗传算法	(201)
8.5.3 数值实例	(204)
第九章 设备布局设计问题	(206)
9.1 引言	(206)
9.2 机器布局问题	(206)
9.3 单行机器布局问题	(208)
9.3.1 数学模型	(208)
9.3.2 单行机器布局问题的遗传算法	(209)
9.4 多行机器布局问题	(211)
9.4.1 数学模型	(211)
9.4.2 表达方式	(212)
9.4.3 初始化	(214)
9.4.4 交叉	(216)
9.4.5 变异	(217)
9.4.6 评估函数	(218)
9.4.7 实例	(218)
9.5 模糊设备布局问题	(220)
9.5.1 设备布局问题	(220)
9.5.2 模糊混和	(220)
9.5.3 表达方式	(221)
9.5.4 初始化	(222)
9.5.5 交叉	(224)
9.5.6 变异	(225)

9.5.7 从染色体建立一个布局	(225)
9.5.8 评估和选择	(228)
9.5.9 数值实例	(229)
第十章 工程设计中的选择专题.....	(235)
10.1 资源受限项目调度问题.....	(235)
10.1.1 问题描述	(235)
10.1.2 混和遗传算法	(236)
10.1.3 实例	(241)
10.2 模糊车辆路径与调度问题.....	(244)
10.2.1 问题描述	(244)
10.2.2 相关的遗传算法研究	(248)
10.2.3 混和遗传算法	(248)
10.2.4 实验结果	(255)
10.3 布局-分配问题	(257)
10.3.1 布局-分配模型	(257)
10.3.2 混和进化方法	(258)
10.3.3 数值实例	(260)
10.4 障碍布局-分配问题	(262)
10.4.1 障碍布局-分配模型	(262)
10.4.2 可行布局	(264)
10.4.3 避免障碍的最短路径	(264)
10.4.4 混和进化方法	(264)
10.4.5 实例研究	(265)
10.5 生产计划问题.....	(267)
10.5.1 生产计划问题描述	(267)
10.5.2 生产计划问题评价	(268)
10.5.3 例子	(270)
参考文献.....	(272)

第一章 遗传算法的基础

1.1 引言

工业工程中,特别是制造系统中的许多最优化问题性质非常复杂,很难用传统的优化方法来求解[458,470]。自1960年以来,人们对求解这类难解优化问题的兴趣日益增加。一种模仿生物自然进化过程的、被称为“进化算法(Evolutionary Algorithms)”的随机优化技术在解这类优化难题中显示出了通常优于传统优化算法的性能[11,373,437,453]。目前,进化算法主要包括三个研究领域:遗传算法、进化规划(Evolutionary Programming)和进化策略(Evolution Strategies)。其中,遗传算法是迄今为止进化算法中最广为人知的算法。

近年来,由于遗传算法求解复杂优化问题的巨大潜力及其在工业工程领域的成功应用,这种算法受到了广泛的关注。这些成功的应用包括:作业调度与排序、可靠性设计、车辆路径选择与调度、成组技术、设备布置与分配、交通问题,以及其他的许多问题。

1.1.1 遗传算法的一般结构

遗传算法的常用形式是Goldberg提出的[171]。遗传算法是一种基于生物自然选择与遗传机理的随机搜索算法。和传统搜索算法不同,遗传算法从一组随机产生的初始解,称为“种群(Population)”,开始搜索过程。种群中的每个个体是问题的一个解,称为“染色体(Chromosome)”。染色体是一串符号,比如一个二进制字符串。这些染色体在后续迭代中不断进化,称为遗传。在每一代中用“适值(Fitness)”来测量染色体的好坏[439]。生成的下一代染色体,称为后代(Offspring)。后代是由前一代染色体通过交叉(Crossover)或者变异(Mutation)运算形成的。新一代形成中,根据适值的大小选择部分后代,淘汰部分后代,从而保持种群大小是常数。适值高的染色体被选中的概率较高。这样,经过若干代之后,算法收敛于最好的染色体,它很可能就是问题的最优解或次优解。设 $P(t)$ 和 $C(t)$ 分别表示第 t 代的双亲和后代,遗传算法的一般结构可描述如下(并见图1.1):

遗传算法过程

begin

$t \leftarrow 0$;

初始化 $P(t)$;

评估 $P(t)$;

while 不满足终止条件 do

begin

重组 $P(t)$ 获得 $C(t)$;

评估 $C(t)$;

从 $P(t)$ 和 $C(t)$ 中选择 $P(t+1)$;

$t \leftarrow t + 1;$
end
end

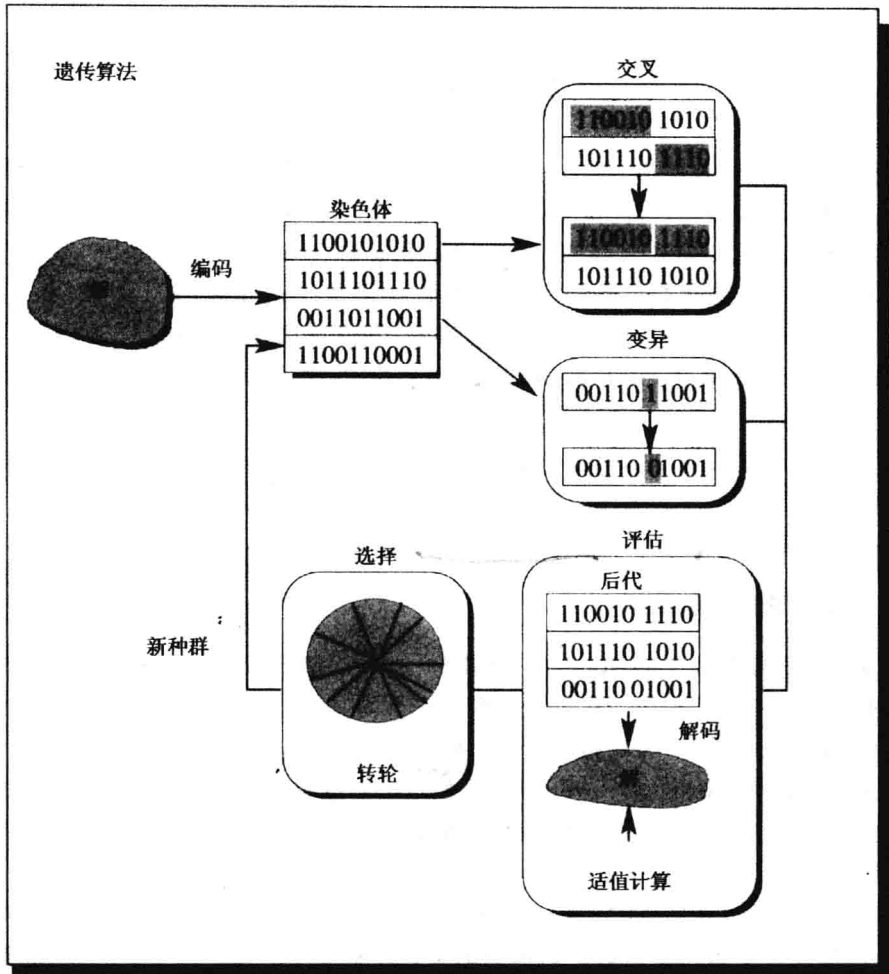


图 1.1 遗传算法的一般结构

以上是 Grefenstette 和 Baker 描述的改进的算法步骤[192,287]。通常初始化是随机产生的。重组包括交叉和变异来获得后代。实际上,遗传算法中有两类运算:

- (1) 遗传运算: 交叉和变异;
- (2) 进化运算: 选择。

遗传运算模拟了基因在每一代中创造新后代的繁殖过程,进化运算则是种群逐代更新的过程。以上描述和 Holland 的原始描述有些不同,原始描述是选择双亲来进行重组[220]。

交叉是最主要的遗传运算,它同时对两个染色体操作,组合二者的特性产生新的后代。交叉的最简单方法是在双亲(两个父辈的个体)的染色体上随机地选一个断点,将断点的右段互相交换,从而形成两个新的后代。这种方法对于二进制表示最为合适。遗传算法

的性能在很大程度上取决于采用的交叉运算的性能。

交叉率(记为 p_c) 定义为各代中交叉产生的后代数与种群中的个体数(通常记为 $pop-size$) 的比。它将参加交叉运算的染色体个数的期望值控制为 $p_c \times pop-size$ 。较高的交叉率可达到更大的解空间,从而降低停在非最优解上的机会;但是这个比率太高,会因搜索不必要的解空间而耗费大量的计算时间。

变异则是一种基本运算,它在染色体上自发地产生随机的变化。一种简单的变异方法是替换一个或多个基因。在遗传算法中,变异可以提供初始种群中不含有的基因,或找回选择过程中丢失的基因,为种群提供新的内容。

变异率(记为 p_m) 定义为种群中变异基因数在总基因数中的百分比。变异率控制了新基因导入种群的比例。若变异率太低,一些有用的基因就不能进入选择;若太高,即随机的变化太多,那么后代就可能失去从双亲继承下来的好特性,这样算法就会失去从过去的搜索中学习的能力。

遗传算法在几个基本方面不同于传统优化方法。Goldberg 总结为如下几点[171]:

- (1) 遗传算法运算的是解集的编码,而不是解集本身。
- (2) 遗传算法的搜索始于解的一个种群,而不是单个解。
- (3) 遗传算法只使用报酬信息(适值函数),而不使用导数或其他辅助知识。
- (4) 遗传算法采用概率的,而不是确定的状态转移规则。

1.1.2 探索与扩展

搜索是人们对于问题的求解步骤没有先验知识时所采用的一种通用的方法。搜索可以采用盲目策略或者启发式策略[44]。盲目搜索策略不使用任何问题的领域信息;而启发式搜索则要使用把搜索引向最好方向的附加信息。搜索策略中包含两个重要方面,即探索最好解和扩展搜索空间[46]。Michalewicz 对爬山搜索、随机搜索和遗传搜索作了一个比较[287]。爬山法只注重探索最好解而忽略了搜索空间的扩展;随机搜索注重扩展空间却忽略了探索空间中最有希望的区域;而遗传算法是一类通用目的的搜索方法,它综合了定向搜索与随机搜索的优点,可以取得较好的区域探索与空间扩展的平衡。在遗传搜索的开始,随机的多样性的种群和交叉运算倾向于扩展搜索空间的大范围搜索,随着高适值解的获得,交叉运算倾向于在这些解的周围探索。换言之,交叉运算采用何种搜索策略(探索或扩展)取决于遗传系统的环境(种群的多样性)而不取决于运算本身。需要指出的是,简单的遗传运算设计为通用目的的搜索方法,它基本是一种盲目搜索而不能对后代进行改进。

1.1.3 基于种群的搜索

一般说来,优化算法是收敛于最优解的一系列计算步骤。多数经典的优化方法基于目标函数的梯度或高阶导数产生一个确定的计算系列。这类方法只作用于解空间中的单个解(参见图 1.2),随着迭代的进行,这个解沿着最速下降方向不断改进。这种点对点的搜索方法极可能陷入局部最优解。遗传算法通过保持一个潜在解的种群进行多方向搜索。这种种群对种群的搜索有能力跳出局部最优解。种群进行的是进化的模拟,每代中相对好的解可得到繁殖的机会,而相对差的解只得消亡。遗传算法采用概率转移律,以一定的概率选择部分个体繁殖,而令另一些个体消亡,从而将搜索引向解空间中最可能获得改进的