

遗传算法原理及应用

GENETIC ALGORITHMS:
THEORY AND
APPLICATIONS

周 明 孙树栋 编著



國防工業出版社

遗传算法原理及应用

GENETIC ALGORITHMS: THEORY AND APPLICATIONS

周 明 孙树栋 编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

遗传算法原理及应用/周明, 孙树栋编著. - 北京: 国防工业出版社, 1999.6
ISBN 7-118-02062-1

I. 遗… II. ①周… ②孙… III. 遗传算法-概论 IV. 0
229

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 05715 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)

三河腾飞胶印厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 6 $\frac{1}{2}$ 171 千字
1999 年 6 月第 1 版 1999 年 6 月北京第 1 次印刷
印数: 1—1500 册 定价: 18.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

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，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. 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，对国防科技发展具有较大推动作用的专著；密切结合科技现代化和国防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，密切结合科技现代化和国防现代化需要的新工艺、新材料内容的科技图书。

4. 填补目前我国科技领域空白的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

5. 特别有价值的科技论文集、译著等。

国防科技图书出版基金评审委员会在国防科工委的领导下开展工作，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，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工业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 第三届评审委员会组成人员

名誉主任委员 怀国模

主任委员 黄 宁

副主任委员 殷鹤龄 高景德 陈芳允 曾 铎

秘 书 长 崔士义

委 员 于景元 王小谟 尤子平 冯允成

(以姓氏笔划为序) 刘 仁 朱森元 朵英贤 宋家树

杨星豪 吴有生 何庆芝 何国伟

何新贵 张立同 张汝果 张均武

张涵信 陈火旺 范学虹 柯有安

侯正明 莫悟生 崔尔杰

序

让机器“听”懂人类语言，“看”清文字图像，“会”讲话是人类一直努力的目标，智能计算与识别则是力图实现人类智能，包括视觉、听觉、触觉等感觉能力和多媒体信息的非线性智能化处理。这也是跨世纪的信息科学与高技术的基本支撑点。由于它在国防与民用各个领域的巨大应用前景，因而受到世界各国的高度重视。

生命科学与工程科学的相互交叉、相互渗透和相互促进是现代科学技术发展的显著特点之一，而计算智能（包括神经网络、模糊逻辑和进化计算等）的迅速发展也体现了科学发展的这一特征和趋势。

从远古时代单细胞开始，历经环境变迁的磨难，生命经过了从低级到高级、从简单到复杂的演化之路，不但延续下来而且产生了人类这种有思维、有智力的高级生命体。人类找到了生命的最佳结构与形式，它不仅仅可以被动地适应环境，更重要的是它能够通过学习、模仿与创造，不断提高自己适应环境的能力。

自从本世纪后半叶以来，人类正在将其模仿的范围延伸至人类自身。神经网络是人类对其大脑信息处理机制的模拟，模糊系统是人类对其思维方式的类比。除了向自身结构学习以外，人类还可以向其自身的进化这一更为宏观的过程学习，来增强自己解决问题的能力，其代表性的方法就是进化计算。

人类之所以能够向其自身的进化学习以增强求解问题的能力，是因为自然进化过程本质上就是一个学习与优化的过程。这一优化过程的目的是使生命体达到适应环境的最佳结构与效果。

“进化计算”是一类模拟生物进化过程与机制求解问题的自

组织、自适应人工智能技术。它起源于 60 年代 J.Holland 对于机器学习问题所发展的遗传算法 (Genetic Algorithms), I.Recenberg 和 H.P.Schwefel 用于数值优化问题的进化策略 (Evolution Strategies) 及 L.J.Fogel 对于优化模拟系统所提出的进化规划 (Evolutionary Programming)。

这类技术 (算法) 的核心思想源于这样的基本认识: 生物进化过程 (从简单到复杂, 从低级向高级) 本身是一个自然的、并行发生的、稳健的优化过程。这一优化过程的目标是对环境的自适应性, 生物种群通过“优胜劣汰”及遗传变异来达到进化 (优化) 的目的。依达尔文的自然选择与孟德尔的遗传变异理论, 生物的进化是通过繁殖、变异、竞争和选择这四种基本形式实现的。因而, 如果把待解决的问题理解为对某个目标函数的全局优化, 则进化计算即是建立在模拟上述生物进化过程基础上的随机搜索优化技术。根据这一观点, 遗传算法、进化策略与进化规划等均可解释为进化计算的不同执行策略, 而它们分别从基因的层次和种群的层次实现对生物进化的模拟。

由于具有鲜明的生物背景和适用于任意函数类等特点, 进化计算自 60 年代中期以来引起众多领域的普遍关注, 并被广泛应用于机器学习、人工神经网络训练、程序自动生成、专家系统的知识库维护等一系列超大规模、高度非线性、不连续、多峰函数的优化。

遗传算法是一种更为宏观意义下的仿生算法, 它模仿的机制是一切生命与智能的产生与进化过程。它通过模拟达尔文“优胜劣汰、适者生存”的原理鼓励产生好的结构, 通过模仿孟德尔遗传变异理论在迭代过程中保持已有的结构, 同时寻找更好的结构。作为一种随机优化与搜索方法, 遗传算法有如下特点:

(1) 遗传算法的操作对象是一组可行解, 而非单个可行解; 搜索轨道有多条, 而非单条, 因而具有良好的并行性。

(2) 遗传算法只需利用目标函数的取值信息, 而无需梯度等高价信息, 因而适用于大规模、高度非线性的不连续多峰函数的

优化以及无解析表达式的目标函数的优化，具有很强的通用性。

(3) 遗传算法的择优机制是一种“软”决策，加上其良好的并行性，使它具有良好的全局优化性能和稳健性。

(4) 遗传算法操作的可行解集是经过编码的，目标函数可解释为编码化个体（可行解）的适应值，因而具有良好的可操作性与简单性。

周明、孙树栋同志在多年研究工作的基础上，广泛吸收国内外这一领域的最新进展，撰写了“遗传算法原理及应用”一书，与国内外同类著作相比，系统性好，具有很好的可读性及适用性，将理论与实践有机地融合在一起，作者的写作认真，态度严肃，文笔流畅，适于作大专院校高年级学生、研究生有关课程的教材，同时适于相关领域广大科技工作者参考。我相信，此书的出版将会对计算智能的发展及推广起到积极的推动作用。

焦李成 谨识

1998.12.1

前 言

现代科学理论研究与实践中存在着大量与优化、自适应相关的问题，但除了一些简单的情况之外，人们对于大型复杂系统的优化和自适应问题仍然无能为力。然而，自然界中的生物却在这方面表现出了其优异的能力，它们能够以优胜劣汰、适者生存的自然进化规则生存和繁衍，并逐步产生出对其生存环境适应性很高的优良物种。遗传算法正是借鉴生物的自然选择和遗传进化机制而开发出的一种全局优化自适应概率搜索算法。

遗传算法使用群体搜索技术，它通过对当前群体施加选择、交叉、变异等一系列遗传操作，从而产生出新一代的群体，并逐步使群体进化到包含或接近最优解的状态。由于其具有思想简单、易于实现、应用效果明显等优点而被众多应用领域所接受，并在自适应控制、组合优化、模式识别、机器学习、人工生命、管理决策等领域得到了广泛的应用。遗传算法给我们呈现出的是一种通用的算法框架，该框架不依赖于问题的种类。遗传算法是一类具有较强鲁棒性的优化算法，特别是对于一些大型、复杂非线性系统，它更表现出了比其他传统优化方法更加独特和优越的性能。隐含并行性和全局搜索特性是遗传算法的两大显著特征。

遗传算法是新发展起来的一门学科，各种理论、方法尚未成熟，有待于进一步地发展和完善，但它却为我们解决许多复杂问题提供了希望。尽管在遗传算法的研究和应用过程中会出现许多难题，同时也会产生许多不同的算法设计观点，然而，目前遗传算法的各种应用实践已经展现出了其优异的性能和巨大的发展潜力，它的发展前景激励着各类专业技术人员把遗传算法的理论和方法运用于自己的工作实践中。我们相信，随着研究工作的进一

步深入和发展,遗传算法必将在智能计算领域中起到关键作用。

本书是我们研究和应用遗传算法的总结。全书共八章,第一章介绍了遗传算法的基础知识;第二章主要论述了基本遗传算法及其应用过程;第三、四、五章着重讨论了遗传算法的各种主要实现技术,包括基本实现技术、高级实现技术和并行实现技术等;第六章简要地给出了遗传算法的数学理论基础;第七章研究了遗传算法的一些实际应用问题;第八章简要地论述了属于进化计算的其他几种主要方法。最后,在本书的附录中我们给出了一个用C语言编写的基本遗传算法源程序,以方便读者参考和使用。

本书由周明和孙树栋合作编著,其中孙树栋撰写第一章和第二章,周明撰写第三、四、五、六、七、八章及附录,并由周明统一定稿。本书的写作方针是始终贯彻理论与实践相结合的原则,理论、应用并重。

在我们研究遗传算法和写作本书的过程中,得到了西北工业大学彭炎午教授的热心指导和鼓励,西北大学郝克刚教授、西安电子科技大学焦李成教授在百忙之中审读了书稿,并为本书提出了宝贵的修改意见,焦李成教授还欣然为本书作序,特在此一并向他们表示衷心的感谢!另外,在写作过程中,参考了大量的相关书籍和文献,同时也向这些作者致以诚挚的谢意!此外,在我们研究遗传算法的过程中,还得到了西北大学云杉、西北工业大学李娟、施阳等同志的大力协助,课题组的其他同志也给予了积极的帮助和配合,特此致谢!感谢国防科技图书出版基金对本书出版的资助,也感谢国防工业出版社诸位在本书出版中所付出的辛勤劳动。

目前国内在遗传算法方面的书籍和资料还十分匮乏,我们非常希望能够献给大家一本既有理论又重实践的好书,但是由于时间紧促,加之作者的水平和应用实践经验有限,书中的缺点和不足之处在所难免,我们恳请各位专家、学者和读者不吝指正。

周 明 孙树栋

1998年12月于西安

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 遗传算法的生物学基础	(1)
1.2 遗传算法简介	(4)
1.3 遗传算法的特点.....	(11)
1.4 遗传算法的发展.....	(13)
1.5 遗传算法的应用.....	(15)
第二章 基本遗传算法	(18)
2.1 基本遗传算法描述.....	(18)
2.2 基本遗传算法的实现.....	(21)
2.3 基本遗传算法应用举例.....	(24)
第三章 遗传算法的基本实现技术	(32)
3.1 编码方法.....	(32)
3.2 适应度函数.....	(41)
3.3 选择算子.....	(45)
3.4 交叉算子.....	(51)
3.5 变异算子.....	(54)
3.6 遗传算法的运行参数.....	(58)
3.7 约束条件的处理方法.....	(60)
3.8 遗传算法工具箱.....	(64)
第四章 遗传算法的高级实现技术	(65)
4.1 倒位算子.....	(65)
4.2 二倍体与显性操作算子.....	(67)
4.3 变长度染色体遗传算法.....	(71)
4.4 小生境遗传算法.....	(74)

4.5	混合遗传算法	(78)
第五章	并行遗传算法	(90)
5.1	遗传算法的并行化	(90)
5.2	实现并行遗传算法的标准型并行方法	(94)
5.3	实现并行遗传算法的分解型并行方法	(97)
5.4	伪并行遗传算法	(104)
第六章	遗传算法的数学理论	(108)
6.1	模式定理	(108)
6.2	积木块假设与遗传算法欺骗问题	(113)
6.3	隐含并行性	(114)
6.4	遗传算法的收敛性分析	(116)
6.5	适应度函数的自相关分析	(119)
第七章	遗传算法的应用	(123)
7.1	数值函数优化计算	(123)
7.2	多目标优化	(130)
7.3	求解装箱问题的遗传算法	(138)
7.4	求解旅行商问题的遗传算法	(143)
7.5	离散空间下机器人路径规划的遗传算法	(156)
7.6	连续空间下机器人路径规划的遗传算法	(161)
第八章	进化计算	(166)
8.1	进化计算概要	(166)
8.2	遗传算法	(168)
8.3	进化策略	(169)
8.4	进化规划	(172)
8.5	三种典型进化算法的比较	(174)
附录 I	基本遗传算法源程序	(176)
附录 II	基本术语 (中英文对照)	(189)
	参考文献	(196)

CONTENTS

CHAPTER1	INTRODUCTION	(1)
1.1	Biological Foundations of Genetic Algorithms	(1)
1.2	A Brief Introduction to Genetic Algorithms	(4)
1.3	The Characteristics of Genetic Algorithms	(11)
1.4	The Development of Genetic Algorithms	(13)
1.5	The Applications of Genetic Algorithms	(15)
CHAPTER2	SIMPLE GENETIC ALGORITHMS	(18)
2.1	The Description of Simple Genetic Algorithms	(18)
2.2	The Implementation Techniques of Simple Genetic Algorithms	(21)
2.3	Application Example of Simple Genetic Algorithms	(24)
CHAPTER3	BASIC TECHNIQUES OF GENETIC ALGORITHMS	(32)
3.1	Coding Method	(32)
3.2	Fitness Function	(41)
3.3	Selection Operators	(45)
3.4	Crossover Operators	(51)
3.5	Mutation Operators	(54)
3.6	Parameters of Genetic Algorithms	(58)
3.7	Processing of Constrains	(60)
3.8	A Simple Toolbox of Genetic Algorithms	(64)
CHAPTER4	ADVANCED TECHNIQUES OF GENETIC ALGORITHMS	(65)

4.1	Inverse Operator	(65)
4.2	Diploid and Dominance Operator	(67)
4.3	Messy Genetic Algorithms	(71)
4.4	Niche Genetic Algorithms	(74)
4.4	Hybrid Genetic Algorithms	(78)
CHAPTER5 PARALLEL GENETIC ALGORITHMS		(90)
5.1	Parallelism of Genetic Algorithms	(90)
5.2	Standard Parallel Approach	(94)
5.3	Decomposition Parallel Approach	(97)
5.4	Pseudo Parallel Genetic Algorithm	(104)
CHAPTER6 MATHEMATICAL FOUNDATIONS OF GENETIC ALGORITHMS		(108)
6.1	Schema Theorem	(108)
6.2	Building Block Hypothesis and GA Deceptive Problem	(113)
6.3	Implicit Parallelism	(114)
6.4	Analysis of Convergence of Genetic Algorithms ..	(116)
6.5	Self-correlation Analysis of Fitness Function	(119)
CHAPTER7 APPLICATIONS OF GENETIC ALGORITHMS		(123)
7.1	Genetic Algorithms for Global Optimization of Numerical Function	(123)
7.2	Genetic Algorithms for Multi-object Optimization	(130)
7.3	Genetic Algorithms for Bin Packing	(138)
7.4	Genetic Algorithms for Traveling Salesman Problem	(143)
7.5	Genetic Algorithms for Path Planning in Discrete Space	(156)
7.6	Genetic Algorithms for Path Planning in	

Continuous Space	(161)
CHAPTER8 EVOLUTIONARY COMPUTATION	(166)
8.1 A Brief Introduction to Evolutionary Computation	(166)
8.2 Genetic Algorithms	(168)
8.3 Evolutionary Strategy	(169)
8.4 Evolutionary Programming	(172)
8.5 Comparisons among Typical Evolutionary Algorithms	(174)
 Addendum I : The basic source program of genetic algorithms	(176)
Addendum II : The basic terms	(189)
References	(196)

第一章 绪 论

1.1 遗传算法的生物学基础

生物在自然界中的生存繁衍，显示出了其对自然环境的优异自适应能力。受其启发，人们致力于对生物各种生存特性的机理研究和行为模拟，为人工自适应系统的设计和开发提供了广阔的前景。遗传算法（Genetic Algorithms，简称 GAs）就是这种生物行为的计算机模拟中令人瞩目的重要成果。基于对生物遗传和进化过程的计算机模拟，遗传算法使得各种人工系统具有优良的自适应能力和优化能力。遗传算法所借鉴的生物学基础就是生物的遗传和进化。

1.1.1 遗传与变异

世间的生物从其亲代继承特性或性状，这种生命现象就称为遗传（Heredity），研究这种生命现象的科学叫做遗传学（Genetics）^[1]。由于遗传的作用，使得人们可以种瓜得瓜、种豆得豆，也使得鸟仍然是在天空中飞翔，鱼仍然是在水中遨游。

构成生物的基本结构和功能单位是细胞（Cell）。细胞中含有的一种微小的丝状化合物称为染色体（Chromosome），生物的所有遗传信息都包含在这个复杂而又微小的染色体中。遗传信息是由基因（Gene）组成的，生物的各种性状由其相应的基因所控制，基因是遗传的基本单位。细胞通过分裂具有自我复制的能力，在细胞分裂的过程中，其遗传基因也同时被复制到下一代，从而其性状也被下一代所继承。经过生物学家的研究，现在人们已经明白控制并决定生物遗传性状的染色体主要是由一种叫做脱