

遗传算法的数学基础

张文修 梁 怡 编著

西安交通大学出版社

遗传算法 的数学基础

张文修 梁 怡 编著
西安交通大学出版社

Mathematical Foundation of Genetic Algorithms

Zhang Wenxiu
Leung Yee

Xi'an Jiaotong University Press

图书在版编目(CIP)数据

遗传算法的数学基础 / 张文修, 梁怡编著. —西安: 西安交通大学出版社, 2000.5

ISBN 7-5605-1256-9

I. 遗… II. ①张… ②梁… III. 遗传算法-数学基础
IV. O242.23

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 23337 号

*

西安交通大学出版社出版发行

(西安市兴庆南路 25 号 邮政编码: 710049 电话: (029)2668316)

西安电子科技大学印刷厂印装

各地新华书店经销

*

开本: 850mm×1 168mm 1/32 印张: 7.125 字数: 173 千字

2000 年 5 月第 1 版 2001 年 4 月第 2 次印刷

印数: 3 001~5 000 定价: 18.00 元(精) 12.00 元(平)

若发现本社图书有倒页、白页、少页及影响阅读的质量问题, 请去当地销售部门调换或与我社发行科联系调换。发行科电话: (029)2668357, 2667874

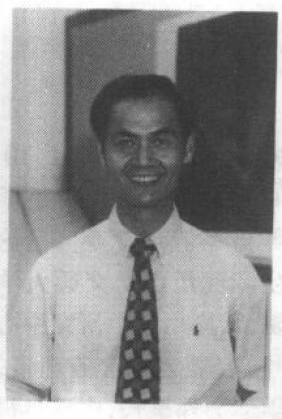
作者简介



张文修,教授,1940年10月出生,出生于山西翼城县,1967年毕业于南开大学概率统计专业信息论方向研究生。现任西安交通大学研究生院院长,应用数学研究中心副主任,中国数学学会常务理事,陕西省数学学会理事长,中国模糊集与系统学会副理事长,国际IFSA会员,《模糊系统与数学》杂志副主编,《工程数学学报》杂志主编等。

张文修教授长期从事应用概率与集值随机过程、计算机智能推

理基础与计算仿真的理论研究。先后主持和完成 5 项国家自然科学基金课题和两项国家 863 高新技术课题。作为项目主持人,张文修获国家级优秀教学成果一等奖一项、二等奖一项、陕西省科技进步一等奖一项、国家教委优秀教材一等奖一项、西安交通大学科技成果一等奖两项。由科学出版社、贵州科技出版社、西安交通大学出版社等先后出版专著和教材 12 种,在中国科学、数学学报、科学通报、数学进展及国际学术刊物上发表研究论文 80 多篇。多次出国参加国际学术会议、访问、考察和科研合作。



梁怡,教授,现任香港中文大学地理系讲座教授及系主任,环境研究中心研究员及地球信息科学联合实验室学术委员会副主任。获中文大学社会科学学士及美国科罗拉多大学文学硕士,理学硕士及博士学位。担任多种国际杂志编委和学会成员。由国际出版社出版专著 2 种,西安交通大学出版社出版专著 1 种。在国际学术刊物和国际会议上发表论文 100 多篇。研究方向为空间分析、环境工程与专家系统、地理信息系统及决

策支持系统、模糊逻辑与神经网络、遗传算法等。先后主持和完成 10 项 RGC(香港政府)课题。已完成的三项课题均获杰出研究奖。被选入以下名人录:(1) Edition Two of 5000 Personalities of the World by the American Biographical Institute; (2) Men and Wom-

en of Distinction (Fourth World Edition) by the International Biographical Centre; (3) Men of Achievement (Fifteenth Edition) by the International Biographical Centre; (4) Dictionary of International Biography (Twenty Second edition) by the International Biographical Centre.

ABOUT THE AUTHORS

Zhang Wenxiu is a professor of Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China. He graduated from Nankai University in 1967, specialized in information theory, probability and statistics major. He currently serves as dean of graduate school and vice-director of Research Centre of Applied Mathematics at Xi'an Jiaotong University, president of Mathematics Society of Shannxi Province, vice-president of Chinese Society of Fuzzy Set and Systems, Vice-editor-in-chief of Chinese journals: "Fuzzy System and Mathematics" and editor-in-chief of "Journal of Engineering Mathematics". He is a member of the Standing Council of Mathematics Society of China, and of the IFSA.

Professor Zhang has been active in research on applied probability theory, set-valued stochastic process and computer reasoning in AI. He is the author or coauthor of over 80 academic journal papers, and 12 textbooks and monographs. As a principal investigator or author, he won prizes of the most distinguished teaching achievement in China in 1993, the excellent textbooks in universities in 1987, the first class award of Scientific Progress in Shannxi Province in 1987 and two first class awards of Research results of Xi'an Jiaotong University in 1988 and 1993. Professor Zhang has held many visiting positions in Chinese and foreign universities.

Leung Yee is a professor of Geography and Chairman of the Department of Geography, Research Fellow of the Center for Environmental studies, and deputy director of the Academic Committee of the Joint Laboratory for Geoinformation Science of the Chinese University of Hong Kong. He obtained his B. S. Sc. from the Chinese University of Hong Kong in 1992 and M. A., M. S., and PH D from the University of Colorado, USA in 1977.

Dr. Leung has been conducting research on spatial analysis environmental engineering, expert system, Fuzzy programming and neural networks, and evolutionary computation. He has published over 100 journal papers and three monographs "Spatial Analysis and Planning under Imprecision" (Amsterdam, North-Holland, 1988), "Intelligent Spatial Decision Support Systems" (Berlin, Springer-Verlag, 1997), "Principles of Uncertain Reasoning" (Xi'an Jiaotong University, 1996). He is a holder of 10 RGC (Hong Kong SAR) grants and has received "Research Excellence Award" for all of the 3 completed projects. He is a member of the editorial boards of several international journals, and has been listed in the following Who's Who.

内容简介

遗传算法(genetic algorithm) 是模拟自然界生物进化过程与机制求解问题的一类自组织与自适应的人工智能技术,已广泛应用于计算机科学、人工智能、信息技术及工程实践。

本书重点在于阐述遗传算法的数学基础。全书共分3章,第1章给出了遗传算法的几何理论,第2章给出了遗传算法的马尔可夫链分析,第3章给出了遗传算法的收敛理论。

本书可以作为研究遗传算法的参考书,也可以作为应用数学、计算机科学、系统科学等专业研究生的教材。

前 言

遗传算法(genetic algorithm)是模拟自然界生物进化过程与机制求解极值问题的一类自组织、自适应人工智能技术。它模拟达尔文的自然进化论与孟代尔的遗传变异理论,具有坚实的生物学基础;它提供从智能生成过程观点对生物智能的模拟,具有鲜明的认知学意义;它适合于无表达或有表达的任何类函数,具有可实现的并行计算行为;它能解决任何类实际问题,具有广泛的应用价值。因此,最近十多年,遗传算法在国内外倍受重视。

遗传算法的思想由来已久。早在 20 世纪 50 年代,一些生物学家就着手于计算机模拟生物的遗传系统。1967 年,美国芝加哥大学 Holland, J. H. 教授在研究适应系统时,进一步涉及进化演算的思考,并于 1968 年提出模式理论。1975 年, Holland 教授的专著《自然界和人工系统的适应性》(Adaptation in Nature and Artificial Systems)问世,全面地介绍了遗传算法,为遗传算法奠定了基

础。此后,遗传算法无论在理论研究方面,还是在实际应用方面都有了长足的发展。

一种理论的成熟取决于它的数学描述的完善程度。随着遗传算法的广泛应用,理论研究也越来越深入。对于遗传算法的理论分析基本上有两大类:一类是遗传算法的马氏链模型;一类是 Vose-Liepins 模型。表面上这两类方法似乎是有限状态与无限状态之分,但研究的方法大相径庭。对于马氏链模型主要采用转移概率与极限理论;对于 Vose-Liepins 模型主要采用不动点理论,具有浓厚的几何色彩。本书的第 1 章除介绍遗传算法的基本概念以外,介绍了 Vose-Liepins 模型,第 2 章介绍了遗传算法的马氏链模型。不管是遗传算法的马氏链模型,还是 Vose-Liepins 模型,重点都是研究遗传算法的收敛性。我们在第 3 章中,在马氏链模型与 Vose-Liepins 模型的基础上,抓住了遗传算法收敛的一些基本条件以及这些基本条件之间的关系,给出了遗传算法收敛的一般定理,建立了证明遗传算法收敛的一般方法。通过对于各种具体遗传算法收敛性的证明,证明了这种方法的有效性。第 3 章的结果主要是西安交通大学理学院信息与系统研究所的专家们与香港中文大学的有关专家合作科研的成果。这些专家包括徐宗本教授、聂赞坎教授、梁广锡教授、高勇副教授、张讲社副教授、段启宏博士等,当然也包括本书的两位作者。读者将可以看出,第 3 章中所提供的方法更加清晰、简明。因此本书除了是对国际上遗传算法理论分析的总结之外,同时也是西安交通大学与香港中文大学两校有关研究成果的总结。感谢这些专家们将尚未发表的结果提供出来,使本书的写作更加丰富。特别要指出的是,本书的绪论主要引自我们指导的博士生高勇的博士论文。

尽管遗传算法已有不少的理论研究,但仍然不能说是很完善,或很深入。理论的研究与遗传算法真实广阔的发展前景之间还有着很大的距离。遗传算法对生物演化的模拟基本上还是形式的,还未深入到生物演化内部规律的模拟,因此这使遗传算法的作用

大受局限。应用与理论的相互推动,将会使遗传算法放射出巨大光芒。当生命演化模拟的遗传算法用来研究生物演化,特别是研究大脑的演化过程时,那将是遗传算法辉煌的时期。致力于遗传算法的研究必须站在科学技术时代的前沿,正因为如此,当完成本书稿时,作者深感本书之不完善——对过去的研究历史挂一漏万,对未来的发展又未能有所展望。不过作为进入研究遗传算法的捷径,本书对那些初涉遗传算法者将会有些方便之处,可以使读者避免重新阅读大量文献,同时给出了较大的思维活动空间。本书如能有这种作用,已倍感荣幸。

作者

1999.5.1

本专著所从事的研究

受国家自然科学基金、国家 863(306)基金
及国家教育部博士点基金资助

目 录

前言

绪论

0-1	遗传算法是一种仿生优化算法	1
0-2	遗传算法的发展与现状	3
0-3	遗传算法的基础理论研究	9

第 1 章 遗传算法的几何理论

1-1	遗传算法的基本概念	13
1-2	遗传机制与遗传算法	20
1-3	遗传机制的几何表示	33
1-4	杂交算子的几何性质	44
1-5	遗传机制的过程分析	54

1-6 遗传算法的几何解释	69
---------------	----

第2章 遗传算法的马氏链模型

2-1 马尔可夫链的定义及性质	80
2-2 标准遗传算法的马氏链模型	93
2-3 改进遗传算法的马氏链模型	106
2-4 优胜劣汰遗传算法的马氏链模型	112
2-5 等价类遗传算法的马氏链模型	120
2-6 遗传算法的马氏决策模型	132

第3章 遗传算法收敛性的一般理论

3-1 遗传算法收敛的定义及性质	146
3-2 遗传算法概率收敛定理	151
3-3 抽象遗传算法的概率收敛定理	165
3-4 遗传算法的几乎处处收敛定理	176
3-5 遗传算法的渐近收敛定理	190
3-6 遗传算法的停时计算问题	202

参考文献

绪 论

0-1 遗传算法是一种仿生优化算法

我们的自然界充满了奇迹,而生命的繁衍生息则是这些奇迹中的奇迹。生命是脆弱的,生命也是顽强的。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,而且产生了人类这样有思维、有智力的高级生命体。人类找到了生命的最佳结构与形式,它不仅可以被动地适应环境,更重要的是它能够通过学习、模拟与创造,不断提高自己适应环境的能力。

在人类的历史上,通过学习与模拟来增强自身适应能力的例子不胜枚举。模拟飞禽,人类可以翱翔天空;模拟游鱼,人类可以横渡海洋;模拟昆虫,人类可以纵观千里;模拟大脑,人类创造了影响世界发展的计算机。人类的模拟能力并不仅仅局限于自然现象和其他生命体。自从 20 世纪后半叶以来,人类正在将其模拟的范围延伸向人类自身。神经网络(neural network)是人类对其大脑