

软计算方法

张颖 刘艳秋 编著

科学出版社

TP301.6

22

软计算方法

张颖 刘艳秋 编著

科学出版社

2002 北京

内容简介

软计算方法是国际上最新发展起来的数学优化方法,它在国民经济的各个领域都有广泛的应用。本书从应用角度出发,介绍了软计算方法的主要内容。全书分四篇,共十一章。内容涉及模糊计算、进化计算、神经计算方法的基本理论和实现技术。书中从结构上对计算方法进行了统一描述,并介绍了软计算方法的应用实例。

本书取材新颖,反映了当前国际先进的智能计算技术,并兼顾课堂教学与自学的特点。叙述深入浅出,易读易懂,可作为高等学校相关专业的研究生、本科生的教材和参考书,也可供有关教师及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

软计算方法/张颖,刘艳秋编著. —北京:科学出版社,2002
ISBN 7-03-010215-0

I. 软… II. ①张… ②刘… III. 电子计算机-计算方法
IV. TP301.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 012654 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2002 年 5 月第 一 版 开本: A5(890×1240)

2002 年 5 月第一次印刷 印张: 7

印数: 1—5 000 字数: 201 000

定 价: 20.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

序 言

最优化方法在各种工程系统、经济系统,乃至社会系统中得到了广泛的应用。最优化理论的研究也一直是一个十分活跃的领域,出版了许多最优化理论、方法和应用的著作和译作。但是,传统的最优化方法有较大的局限性。它往往要求目标函数是凸的、高阶连续可微的,可行域是凸集。而且其处理非确定性信息的能力很差。这些弱点使传统优化方法在复杂系统中的应用受到了限制。

近年来,智能优化方法和软计算方法发展迅速。这两者并没有明确的定义和分界。一般说来,前者包括遗传算法、禁忌搜索、模拟退火和人工神经网络等算法;后者则强调模糊逻辑与各种进化算法的结合,主张采用快速高效的非精确算法。这类新的优化方法目前在理论上还远不如传统优化方法完善,往往也不能确保解的最优性,因而常常被视为“只是一些启发式方法”。但从观念上看,他们突破了传统优化思维的束缚,例如遗传算法模拟生物种群繁殖中的竞争思想,软计算的不以数学上的精确解为目标的思想等等,都是观念上的创新,非常有价值。从实际应用的观点看,这类新算法不要求目标函数和约束的连续性与凸性,甚至连有没有解析表达式都不要求;对计算中数据的不确定性也有很强的适应能力,计算速度快,这些宝贵的优点使这类算法在很短的时间里就得到了广泛应用,展示出方兴未艾的强劲发展势头。

近年来,国际上进化计算和软计算的著作已经出版了不少,但在国内正式出版的这类著作还是凤毛麟角。张颖教授是我国自己培养的博士,在进化计算和软计算的教学中和研究中成绩卓著。这本书不仅是她对国际上已有研究成果的总结,也是她本人在沈阳工业大学和东

序 言

北大学所作的科研工作的结晶。相信本书的出版一定会受到广大读者的欢迎,并对我国的进化计算和软计算的研究和应用起到推动作用。

藉此机会,愿千千万万像张颖教授一样的青年学者努力开拓新的研究领域,为我国的学术繁荣和科学技术的发展作出贡献。

汪定伟

前言

随着社会的进步及科学技术的迅速发展,现代系统的复杂性、测量的不准确性及系统动力学的不确定性,常常使得传统的数学优化方法显得无能为力。软计算方法就是在这种情况下出现的一门新技术,它是由多个学科相互交叉和渗透的结果,得益于模糊数学、人工智能、自动控制理论等许多学科,目前正处于一个快速发展阶段。

优化技术是一种以数学为基础,结合各学科专业知识,优化求解各类实际问题的应用技术。从它的产生到应用,一直受到人们的广泛关注,并在实际应用中迅速推广,例如,在生产计划与调度、交通运输、商业运作、金融管理等领域都有数不清的成功实例。

目前,由于所研究实际系统的规模越来越大,约束条件增多,非线性严重,系统更加复杂,致使系统的数学建模难度越来越大,因此,探寻适合大规模并行计算且具有智能特征的优化方法成为相关学科的研究热点和方向。近 30 年来,人们从不同的角度出发对生物系统及其行为特征进行了模拟,产生了一些对现代科技发展有重大影响的新兴学科,开发出了具有较强通用性的计算、优化模式和方法——软计算方法。软计算方法包括通过对人类模糊思维方式的模拟而产生的模糊计算方法、通过对自然界中生物进化机制的模拟而产生的进化计算方法和通过对动物脑神经的模拟而产生的神经计算方法等,它已逐渐成为现代数学的重要分支之一。

在今天,虽然软计算方法相对而言还是一门新学科,其理论、方法还有待于进一步发展和完善,但它所具有的先进性、实用性、有效性使我们相信,软计算方法不仅是科学研究的重要课题,而且会成为每一个工程师及科学家必须掌握的基础知识。希望本书的出版能为先进

计算技术的研究和推广起到积极的作用。

当前,软计算方法的研究成果比较分散。为了推动高校及科研院所、所研究人员对软计算方法的了解,让初涉优化领域的人花费较少的时间和精力认识并掌握该优化技术,我们试编本书,将软计算方法所涉及到的模糊计算、进化计算、神经计算进行有机集成,在保证各类算法的结构统一性和系统的完整性的基础上,从基本概念、理论基础、算法流程、应用示例入手,对软计算方法进行系统的阐述,并通过介绍各类算法的实际应用为大家提供参考。

本书内容自1998年开始在沈阳工业大学相关专业的博士研究生课程中开始讲授,这次出版对原有内容做了修改与补充。该书自成体系,全书共四篇。第一篇为模糊计算,主要阐明了模糊计算中的基础理论、基本方法及模糊系统建模的相关知识。第二篇为进化计算,分别介绍了遗传算法、模拟退火算法、禁忌搜索算法的产生、机理、流程及其实现技术和应用。第三篇为神经计算,介绍了神经网络的基本概念、学习方法,针对典型网络模型,介绍了主要算法和训练步骤。第四篇介绍软计算方法及其应用。为了使读者更好地理解、掌握好各篇的基本内容,在每一篇的结尾处相应给出了本篇小结。

本书可作为高等院校相关专业的研究生、本科生的教材,也可供有关学科的研究人员参考。由于作者水平有限,不足之处,欢迎读者批评指正。

感谢东北大学汪定伟教授、王福利教授给与的热心指导与建议,感谢沈阳工业大学赵文珍教授、王文涛教授给予的大力支持,感谢科学出版社的大力帮助,感谢参与研究工作的有关师生的大力支持。此外,在本书的编写过程中,我们参阅和引用了许多国内外同行们的学术论文和著作,编者在此一并表示深深的感谢。

本书所述课题得到了中国博士后基金(20003128)及省基金(20142204,20142205,2001102027)的资助。

编著者

内 容 简 介

软计算方法是国际上最新发展起来的数学优化方法，它在国民经济的各个领域都有广泛的应用。本书从应用角度出发，介绍了软计算方法的主要内容。全书分四篇，共十一章。内容涉及模糊计算、进化计算、神经计算方法的基本理论和实现技术。书中从结构上对计算方法进行了统一描述，并介绍了软计算方法的应用实例。

本书取材新颖，反映了当前国际先进的智能计算技术，并兼顾课堂教学与自学的特点。叙述深入浅出，易读易懂，可作为高等学校相关专业的研究生、本科生的教材和参考书，也可供有关教师及工程技术人员参考。

作者简介

张 颖:

1987年 东北师范大学数学系毕业
获学士学位

1987年 分配到沈阳工业大学任教
至今

1996年 东北大学自控系硕士毕业
获工学硕士学位

2000年 东北大学信息科学与管理
学院控制理论与控制工程
专业博士毕业
获工学博士学位

同年进入东北大学计算机
科学与技术博士后流动站
做研究工作

目 录

绪 论	1
-----------	---

第一篇 模糊计算

1 模糊概念与模糊集合	9
1.1 模糊概念	9
1.1.1 概 述	9
1.1.2 模糊性与随机性	10
1.2 普通集合	12
1.2.1 集合的概念	12
1.2.2 集合的运算性质	14
1.2.3 特征函数	15
1.3 模糊集合	16
1.3.1 模糊集合的概念	16
1.3.2 隶属函数	18
1.3.3 模糊集合的运算	20
1.4 模糊集合与普通集合的联系	23
1.4.1 λ 截集	23
1.4.2 分解定理	24

2	模糊关系与模糊变换	26
2.1	模糊关系的基本概念	26
2.1.1	基本知识	26
2.1.2	模糊关系的概念	28
2.1.3	模糊关系的运算	28
2.2	模糊关系的合成	30
2.3	模糊关系的性质	31
2.4	模糊变换	33
2.4.1	模糊变换的概念	33
2.4.2	扩张原理	34
3	模糊推理	37
3.1	模糊语言与语言变量	37
3.1.1	自然语言的模糊性	37
3.1.2	语言变量和语言值	38
3.2	模糊命题与模糊条件语句	39
3.2.1	模糊命题	39
3.2.2	模糊条件语句	40
3.3	模糊推理	45
3.3.1	模糊推理的基本概念	45
3.3.2	关系合成推理法	46
3.3.3	特征展开近似推理方法	55

4 模糊系统的建模	59
4.1 模糊系统模型	59
4.2 模糊系统模型的建立方法	61
小 结	65

第二篇 进化计算

5 遗传算法	69
5.1 遗传算法的概念	69
5.1.1 遗传算法的生物遗传学基础	69
5.1.2 遗传算法的一般结构	70
5.1.3 遗传算法的特点	71
5.1.4 遗传算法的基本操作	73
5.2 遗传算法的模式理论	79
5.2.1 模式概念	79
5.2.2 模式定理	81
5.2.3 遗传算法有效处理的模式数量	84
5.3 遗传算法的收敛性分析	86
5.3.1 预备知识	86
5.3.2 标准遗传算法的 Markov 链描述	88
5.3.3 标准遗传算法的收敛性	89
5.3.4 一般可测状态空间上遗传算法的收敛性	92
5.4 遗传算法实现中的基本问题	94
5.4.1 目标函数值到适值的映射	95

5.4.2	适值调整	95
5.4.3	编码原则	97
5.4.4	多参数级联定点映射编码	98
5.5	遗传算法的发展	100
5.5.1	改进遗传算法的一般结构	101
5.5.2	编码问题	101
5.5.3	遗传运算	102
5.5.4	混合遗传算法	107
6	模拟退火算法	109
6.1	概 述	109
6.1.1	物理退火过程	109
6.1.2	Metropolis 算法	110
6.1.3	模拟退火算法	111
6.2	模拟退火算法的收敛性分析	113
6.2.1	模拟退火算法的 Markov 链描述	113
6.2.2	模拟退火算法的收敛性	115
6.3	模拟退火算法的关键参数控制	121
6.3.1	控制参数初值 t_0	121
6.3.2	控制参数的终值 t_f	122
6.3.3	Markov 链长 L_k	124
6.3.4	控制参数的更新函数 $T(t)$	125
6.4	模拟退火算法的应用	126
6.4.1	模拟退火算法应用的一般要求	126
6.4.2	典型组合优化问题的模拟退火算法	128

7 禁忌搜索算法	134
7.1 禁忌搜索算法的要素	134
7.1.1 禁忌搜索算法的基本思想	135
7.1.2 禁忌搜索算法的主要构成	136
7.1.3 禁忌搜索算法流程	138
7.2 禁忌搜索算法的收敛性分析	139
7.3 禁忌搜索算法示例	142
7.4 禁忌搜索算法的发展和应用	145
7.4.1 并行禁忌搜索算法	145
7.4.2 禁忌搜索算法与遗传算法的混合策略	146
7.4.3 Flow-shop 问题的禁忌搜索算法	148
7.4.4 函数优化中的禁忌搜索算法	150
小 结	154

第三篇 神经计算

8 神经网络概述	157
8.1 基本概念	157
8.1.1 生物神经元模型	157
8.1.2 人工神经元模型	159
8.1.3 人工神经网络模型	161
8.2 神经网络的学习方法	163
8.2.1 学习机理	163
8.2.2 学习方法	165

8.2.3 学习规则	166
9 前馈网络模型及其主要算法	171
9.1 感知器网络模型及算法	171
9.1.1 感知器网络模型	171
9.1.2 感知器网络的学习算法	172
9.2 BP 网络与误差反向传播算法	173
9.2.1 BP 网络	173
9.2.2 误差反向传播算法	174
9.2.3 BP 网络学习算法的改进	179
9.2.4 RBF 网络	180
10 反馈网络模型及其主要算法	182
10.1 Hopfield 网络与算法	182
10.1.1 Hopfield 网络结构与基本思想	182
10.1.2 Hopfield 网络的工作方式及算法	184
10.2 Boltzmann 机网络和学习方法	188
10.2.1 Boltzmann 机的网络结构	188
10.2.2 Boltzmann 机网络的学习和训练	189
10.3 自组织特征映射网络和算法	191
10.3.1 自组织特征映射网络结构	191
10.3.2 自组织特征映射网络的自组织算法 ...	191
小 结	192

第四篇 软计算方法及其应用

11 软计算方法及其应用	195
11.1 软计算方法概述	195
11.2 软计算方法的应用	196
11.2.1 模糊推理与遗传算法的结合	196
11.2.2 流水线调度问题的模糊遗传算法	198
11.2.3 供应链管理中软计算方法的应用	200
11.2.4 基于神经网络的模糊系统	201
小 结	204
参考文献	206

绪 论

优化技术是一种以数学为基础,用于求解各种实际问题 优化的应用技术。随着现代科学的发展,各学科之间相互渗透,新的交叉学科不断形成,新的思维方式、新的计算方法,特别是计算机科学与技术的迅速发展为优化技术的研究与发展注入了活力,也为其提供了更广阔的研究空间。人们认识与改造世界的能力日益扩大,对科学技术也提出了新的、更高的要求,其中对高效的优化技术和计算方法的要求日益迫切。同时,对于实际系统,例如工程领域,特别是人工智能与控制领域,不断涌现出超大规模的非线性系统,在这些系统的研究中,经典优化方法不能有效求解的优化问题 必须采用智能技术。鉴于实际问题的复杂性、约束性、非线性、不确定性、建模困难等特点以及传统优化方法局限性大的现状,寻求一种适合于大规模并行且具有智能特征的最优化方法已成为很多学科研究的目标和内容,因此,优化理论与算法的研究是一个具有理论意义和应用价值的重要课题。

本篇将介绍最优化问题、优化算法和分类、邻域搜索方法、计算复杂性以及 NP 问题等方面的内容,为后文做准备。

1 最优化问题

优化的根本目的就是在原有的基础上改善,并力求在考虑范围内找到最佳的结果。在数学上,最优化通常是指最大或最小某个多变量的函数并满足一些等式和/或不等式约束。优化问题有三个基本要素:变量、约束和目标函数。在求解过程中选定的基本参数成为变量,对变量取值的限制成为约束,表示可行方案衡量标准的函数成为目标函数。

一般的最优化问题主要是指函数优化问题和组合优化问题。

以最小化函数为例,函数优化问题通常可描述为:令 S 为 R^n 上的有界子集(即变量的定义域), $f:S \rightarrow R$ 为 n 维实值函数,所谓函数 f 在 S 域上全