

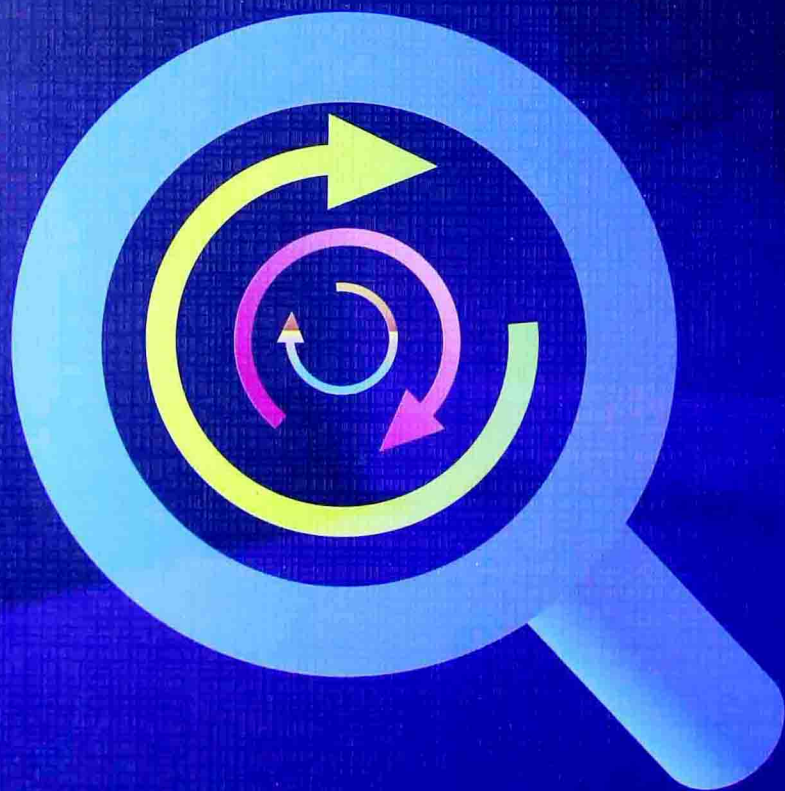
搜索方法论

——优化与决策支持技术入门教程

Edmund K. Burke
Graham Kendall

著
译

许莹 郭斯羽 李仁发



SEARCH METHODOLOGIES INTRODUCTORY TUTORIALS
IN OPTIMIZATION AND DECISION SUPPORT TECHNIQUES



世界著名计算机教材精选

搜索方法论

——优化与决策支持技术入门教程

Edmund K. Burke 著
Graham Kendall

许莹 郭斯羽 李仁发 译

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

各种决策支持系统的应用涉及众多领域,如工业、商业、科学和政府部门。决策支持系统可以用来解决许多实际问题,包括交通调度、生物信息优化、人事调度、医疗诊断、时间表、生产调度和商业决策等。其中,实现决策支持系统的关键是其底层的搜索和优化技术。因此,搜索和优化技术是一个至关重要的研究领域。

本书是一本涵盖多个领域,如计算机科学、数学和运筹学的解决各种复杂问题的搜索、优化和决策支持技术的入门教程。本书精心组织,通过19个章节系统介绍了大量经典和最新的优化技术和搜索方法。每章的作者均是相关领域的国际知名专家。第1章是概述,第2章和第3章介绍了一些经典的基于数学的搜索方法,如分支限界法、动态规划、网络流规划、整数规划等。第4章至第8章介绍了一些经典和常用的人工智能方法,包括遗传算法、演化计算、模拟退火、禁忌搜索、变邻域搜索。接着介绍了一些较新的优化技术,包括约束规划、多目标优化、机器学习、人工免疫系统、群体智能、模糊推理、基于粗糙集的决策支持、超启发式和近似算法等。此外,本书还介绍了搜索和优化领域涉及的一些理论知识,如复杂理论、适应值曲面等。

本书几乎涵盖了所有经典、实用和目前最新的搜索和优化技术,内容丰富、层次分明、重点突出。每章都附有大量相关参考文献,具有权威性和实用性。作为介绍搜索和优化技术的入门教程,本书非常适合作为高等院校高年级本科生和研究生的教材,并可用作相关领域研究人员的参考资料。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

搜索方法论:优化与决策支持技术入门教程/(英)伯克(Burke, E. K.), (英)肯德尔(Kendall, G.)著;许莹,郭斯羽,李仁发译. —北京:清华大学出版社,2014

书名原文: Search Methodologies Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques

世界著名计算机教材精选

ISBN 978-7-302-36307-1

I. ①搜… II. ①伯… ②肯… ③许… ④郭… ⑤李… III. ①搜索—方法—教材 IV. ①TP18

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第084732号



责任编辑:张瑞庆 李 晔

封面设计:何凤霞

责任校对:李建庄

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:三河市中晟雅豪印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:27.25

字 数:677千字

版 次:2014年8月第1版

印 次:2014年8月第1次印刷

印 数:1~1000

定 价:59.00元

产品编号:047238-01

译者序

本书的英文原版是我在英国诺丁汉大学计算机学院攻读博士学位时用过的的一本研究生教材,它是由英国人工智能优化及自动调度领域的知名专家 Edmund Burke 教授和 Graham Kendall 教授在 2005 年编辑整理完成的一本系统介绍解决各种复杂问题的搜索、优化和决策支持技术的入门教程。从这本书的目录就可以看到,这本书几乎涵盖了所有经典、实用和最新的搜索和优化技术,内容丰富,层次分明,特别是每一章的作者都是由该领域的国际知名专家执笔。当我再深入阅读书的每一章时,更被书中深入浅出的介绍和恰到好处的实例分析所吸引。此外,每章的末尾都提供一些学习和掌握这些方法和技术的诀窍,以及这些方法的一些可能的应用领域、待解决的一些研究方向等,并提供了大量翔实的信息资源,方便我们进行深入研究。就像 Fred Glover 教授在前言中所提到的,我发现这是一本介绍搜索和优化技术的不可多得的好书,它将以一种轻松的方式带着读者认识、了解和掌握一些经典和实用的搜索和优化技术。

于是,当我博士毕业回国后,我就萌发了将这本书翻译成中文的想法,以便让更多的中国的读者有机会接触和学习这本书。从准备翻译直到完成本书的翻译工作,我们用了前后 1 年多的时间。特别要感谢本书的另外两位译作者湖南大学信息科学与工程学院李仁发教授和湖南大学电气与信息工程学院郭斯羽副教授对本书出版翻译所做的大量工作。另外,还要感谢湖南大学信息科学与工程学院李智勇教授参与本书的核对工作。此外,要感谢清华大学出版社和德国斯普林格出版社对本书翻译出版工作给予的支持和帮助。最后,感谢所有对本书的翻译出版提供过帮助的人!

希望这本书,就像它的子标题“——优化与决策支持技术入门教程”,能够给优化、运筹学和决策支持领域的读者提供一个很好的入门资料。由于时间仓促和水平有限,本书中的翻译难免出现不足之处,敬请谅解。您可以联系我们,帮助我们进一步完善本书的翻译,我们将非常欢迎您的任何意见或建议。

许莹

湖南大学信息科学与工程学院,中国湖南长沙

2014 年 6 月

序

这不是很像一个前言而更像一个证明。当我开始阅读这本书的各章节的愉快旅程时，我便意识到这是一本目前能找到的最好的介绍以搜索方法为主题的入门书籍。这本书的小标题“优化与决策支持技术的入门教程”，巧妙地描述了它的目的，并且本书的主编和撰稿人已经非常成功地达到这一目的。

书中的各章节示范性地提供了实现描述的方法和框架的有用指导。它们以教程应有的方式设计教程。我发现第一章节都提供了有趣和相关的信息，同时对一些章节能评定为非常讨人喜欢。

我们这些贡献了大部分精力在研究和精心设计搜索方法的人常常希望能以简单的方式向这个领域的新手传递核心的概念(顺便说一句，我必须承认对于书中的一些领域我也是一个新手)。虽然简单在一定程度上存在于旁观者的眼中(就像美丽)，没有通用的或神奇的公式来获得它，这本书几乎接近了我之前可能考虑到的目标。它将占据我给想了解搜索方法基础或有兴趣让自己深入探究的学生或同事推荐清单中的一个特有位置。

好的书籍可能被比喻成帮助我们攀登更高知识和认知台阶的梯子，大家都知道尽管很多书在技术领域写得看上去更像障碍，或者最多是像破损的凳子，把我们放置在隔离的角落而没有提供清楚的获得继续上升的方法。这本书不是这样。它的每一章节都提供了供进一步研究的有价值的网址，并且提供了进一步追求它的想法和框架的不可抗拒的动力。如果我的预测不完全出错，那么这些读这本书的人将找到大量的理由来分享我的信念，即我们要给本书的编辑和作者一个真正的感谢，是他们将这些工作综合在一起。

Fred Glover 教授

里兹商学院

美国科罗拉多州博尔德大学

前 言

我们是在三年前有了编写这本书的想法。它源自 2003 年 8 月在诺丁汉召开的一个名为“搜索、优化和决策支持方法的入门教程(INTROS)”的专题讨论会。这个研讨会的目的是对涉及广大范围的交叉学科的搜索方法提供基础的介绍。研讨会受到英国工程与物理科学研究委员会(EPSRC)和伦敦数学协会(LMS)的资助,来自全世界 100 多名代表出席了该研讨会。我们非常幸运地请到了 11 位搜索方法领域的世界首席科学家制作了振奋人心和蕴涵大量知识的教程。所有的 INTROS 的报告者都对本书做出了贡献,我们还增加了一些内容,加入其他的具有特定目标的补充章节。我们很高兴能够在这个极其重要的领域呈现一个完整的、集合多学科的教程。

我们想借这个机会感谢许多对准备本书做出贡献的人。我们非常感谢各章节的作者。就像我们对这些杰出的科学家所希望的,他们以绝对可靠和专业的方式取得了成果。当然,没有他们,将不可能有这本书。我们非常感激我们的文字编辑,Piers Maddox 超越了自己,把我们发给他的各种文件汇聚并整理成条理清晰的结构。我们也非常感谢 Gary Folven、Carolyn Ford 和他们的 Springer 员工,他们在出版过程中的每一步给予我们宝贵的建议和支持。我们要表达对撰写本书前言的 Fred Glover 的感谢。他的热情的赞扬特别令人高兴。一个特殊的感谢应该送给 Emma-Jayne 和 Alison Payne,因为他们在本书的准备和组织支撑本书的 INTROS 专题研讨会方面给予了管理方面的支持。我们也非常感谢 EPSRC 和 LMS 在资金方面对组织这个研讨会的支持。最后,我们要特别感谢 INTROS 代表的热情和鼓励。

我们希望读者能享受读这本书就像我们享受把它集合在一起的过程一样。我们将准备再版,如果您有任何能帮助我们改进这本书的意见,请毫不犹豫地跟我们联系。我们欢迎您的建议。

Edmund K. Burke 和 Graham Kendall
ekb@cs.nott.ac.uk 和 gxk@cs.nott.ac.uk

2005 年 6 月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 跨学科决策支持：动力	1
1.2 本书的结构	1
1.3 基本概念和底层问题	2
附加信息资源	7
参考文献	8
第 2 章 经典方法	10
2.1 引言	10
2.2 线性规划	11
2.2.1 简介	11
2.2.2 线性规划的问题形式	11
2.2.3 对偶性	12
2.2.4 求解技巧	13
2.3 分支限界法	13
2.3.1 简介	13
2.3.2 基于部分解的分支限界法	15
2.3.3 一个推广	20
2.3.4 其他问题	21
2.4 动态规划	22
2.4.1 简介	22
2.4.2 建立 DP 模型	23
2.4.3 其他问题	27
2.5 网络流规划	28
2.5.1 简介	28
2.5.2 最大流问题	28
2.5.3 最小费用流问题	30
2.5.4 其他问题	34
2.6 若干有用的模型	34
2.6.1 最短路径问题：动态规划方法	35
2.6.2 运输与指派问题和转运问题：网络流方法	36
2.6.3 其他有用的模型	37
2.7 今后的应用领域	37
2.7.1 预处理和后处理	38

2.7.2	真混成	38
2.7.3	杂交	39
2.8	诀窍	39
2.8.1	简介	39
2.8.2	有关分支限界法的小提示	40
2.8.3	有关动态规划的小提示	40
2.8.4	有关网络流规划的小提示	41
2.9	结论	41
	附加信息源	42
	参考文献	43
第3章	整数规划	45
3.1	介绍	45
3.1.1	设备选址	46
3.1.2	解决设备选址整数规划问题	47
3.1.3	整数规划中的难点	49
3.2	在方程中具有创新性	49
3.2.1	整数数量	50
3.2.2	二进制决策	50
3.2.3	固定费用需求	51
3.2.4	逻辑约束	51
3.2.5	排序问题	52
3.3	寻找具有强松弛的公式	52
3.4	避免对称	55
3.5	考虑多约束的公式	56
3.6	考虑带多个变量的公式	57
3.7	修正分支限界法的参数	59
3.7.1	问题描述	59
3.7.2	线性规划的求解方法	60
3.7.3	分支变量选择	60
3.7.4	待解子问题选择	60
3.7.5	分支方向	60
3.7.6	容忍度	60
3.8	诀窍	61
3.9	结论	61
	附加信息源	61
	参考文献	62
第4章	遗传算法	64
4.1	引言	64

4.1.1 基本的遗传算法算子	65
4.1.2 可胜任遗传算法	69
4.1.3 基于效率和/或有效性的遗传算法改进	72
4.2 诀窍	75
附加信息源	76
参考文献	77
第 5 章 遗传规划	84
5.1 引言	84
5.2 遗传规划的准备步骤	85
5.3 遗传规划的执行步骤	86
5.4 运行一个遗传规划的实例	92
5.5 遗传规划的深入特征	95
5.5.1 约束的语法结构	95
5.5.2 自动定义的函数	95
5.5.3 自动定义的迭代、循环、递归和存储	96
5.5.4 程序结构以及结构改变操作	96
5.5.5 遗传规划问题的解算机	97
5.5.6 启发式遗传规划	97
5.6 通过遗传规划生成的人类竞争结果	97
5.7 未来应用的前景领域	100
5.8 遗传规划理论	100
5.9 诀窍	103
5.10 结论	104
附加信息源	104
参考文献	106
第 6 章 禁忌搜索	110
6.1 引言	110
6.2 示例问题	110
6.2.1 作业车间调度问题	110
6.2.2 选址运输问题	111
6.3 基本概念	112
6.3.1 历史背景	112
6.3.2 禁忌搜索	112
6.3.3 搜索空间与邻域结构	113
6.3.4 禁忌	114
6.3.5 特赦准则	115
6.3.6 一个简单禁忌搜索的模板	115

6.3.7	终止条件	116
6.3.8	概率禁忌搜索与候选列表	116
6.4	基本概念的扩展	117
6.4.1	强化	117
6.4.2	分散	117
6.4.3	允许不可行解	118
6.4.4	替代与辅助目标函数	118
6.5	未来应用的前景领域	119
6.6	诀窍	119
6.6.1	起步	119
6.6.2	更多提示	120
6.6.3	概率禁忌搜索的更多提示	120
6.6.4	参数调校和计算测试	121
6.7	结论	121
	附加信息源	122
	参考文献	122
第 7 章	模拟退火	126
7.1	引言	126
7.2	局部搜索	126
7.3	基本模拟退火	128
7.4	数学建模	130
7.5	平衡态统计	132
7.6	实际应用	135
7.6.1	静态冷却进度表	136
7.6.2	动态冷却进度表	136
7.7	诀窍	136
7.8	结论	138
	附加信息源	138
	参考文献	139
第 8 章	变邻域搜索	142
8.1	引言	142
8.2	预备知识：文档编辑	144
8.3	变邻域下降	145
8.4	简化变邻域搜索	147
8.5	基本和广义变邻域搜索	149
8.6	偏变邻域搜索	152
8.7	变邻域分解搜索	153

8.8 性能分析	154
8.9 有前景的研究领域	155
8.10 诀窍	157
8.10.1 起步	157
8.10.2 更多提示	158
8.11 结论	158
附加信息源	159
参考文献	159
第9章 约束规划	162
9.1 引言	162
9.2 推理	164
9.3 建模	165
9.4 搜索	165
9.4.1 扩展	166
9.4.2 修复	167
9.5 样例	167
9.6 易处理性	168
9.6.1 理论	169
9.6.2 实验	169
9.7 最优化	169
9.8 算法	170
9.8.1 管理约束	170
9.8.2 域和约束传播	170
9.8.3 约束和搜索	171
9.8.4 全局约束	172
9.8.5 不同的约束行为	173
9.8.6 扩展和修复搜索	173
9.9 约束语言	174
9.9.1 约束逻辑编程	174
9.9.2 建模语言	175
9.10 应用	175
9.10.1 当前的应用领域	175
9.10.2 在控制、查证和确认中的应用	175
9.10.3 组合问题的解决	176
9.10.4 其他的应用	177
9.11 未来应用的前景领域	177
9.11.1 动态约束,软约束	177
9.11.2 混合技术	177

9.11.3	知识获取和注解	177
9.11.4	合成模型和算法	178
9.11.5	分布式处理	178
9.11.6	不确定性	178
9.12	诀窍	178
9.12.1	初始化变量	179
9.12.2	搜索和传播	179
9.12.3	分支和边界	180
9.12.4	代码	180
9.12.5	引入冗余约束	182
9.12.6	增加搜索启发式算法	182
9.12.7	使用一个不完备搜索技术	182
	附加信息源	182
	参考文献	183
第 10 章	多目标优化	186
10.1	引言	186
10.2	多目标优化的两个方法	188
10.3	非支配解和 Pareto 最优解	191
10.3.1	特殊解	191
10.3.2	支配的概念	192
10.3.3	支配关系的性质	193
10.3.4	Pareto 最优解	193
10.3.5	求非支配解的步骤	195
10.4	多目标优化的一些方法	197
10.4.1	经典方法: 权重求和的方法	197
10.4.2	经典方法: ϵ 限制方法	198
10.4.3	多目标进化优化方法	199
10.4.4	样例的仿真结果	201
10.4.5	其他的多目标进化算法	202
10.5	约束处理	203
10.6	一些应用	204
10.6.1	航天器轨迹设计	204
10.6.2	悬臂板设计问题	205
10.7	诀窍	207
10.7.1	经典的多目标优化	207
10.7.2	进化多目标优化	207
10.7.3	优化后研究	209
10.7.4	评价一个多目标优化算法	209

10.8	未来方向	210
10.9	总结	211
	附加信息源	211
	参考文献	213
第 11 章	复杂性理论与无免费午餐定理	217
11.1	引言	217
11.2	P 和 NP 复杂性	217
11.3	无免费午餐	220
11.3.1	无免费午餐：同一主题的不同变化	223
11.3.2	无免费午餐与排列闭包	223
11.3.3	免费午餐定理与可压缩性	226
11.3.4	无免费午餐和 NP-完全性	227
11.3.5	评价搜索算法	228
11.4	诀窍	229
11.5	当前及未来的研究方向	229
11.6	结论	230
	附加信息源	230
	参考文献	231
第 12 章	机器学习	233
12.1	引言	233
12.1.1	学习模型	233
12.1.2	学习任务和机器学习中的问题	234
12.2	学习算法综述	235
12.2.1	学习决策树	235
12.2.2	归纳逻辑编程	236
12.2.3	贝叶斯学习	238
12.2.4	强化学习	239
12.2.5	神经网络	241
12.2.6	演化学习	244
12.3	学习和演化	245
12.3.1	演化神经网络	245
12.3.2	学习规则的演化	247
12.3.3	演化神经网络的一般框架	248
12.4	未来应用的前景领域	249
12.5	诀窍	250
12.6	结论	251
	附加信息来源	252

参考文献	252
第 13 章 人工免疫系统	255
13.1 前言	255
13.2 生物免疫系统的概述	255
13.2.1 免疫网络理论	257
13.2.2 消极的选择机制	257
13.2.3 克隆选择原则	257
13.3 说明性问题	258
13.3.1 入侵检测系统	258
13.3.2 数据挖掘——协同过滤和聚类	258
13.4 人工免疫系统的基本概念	259
13.4.1 初始化/编码	259
13.4.2 相似度或者相关性测度	259
13.4.3 消极、克隆或近邻选择	260
13.4.4 体细胞突变	261
13.5 遗传算法和神经网络的比较	262
13.6 人工免疫系统的延伸	262
13.6.1 独特型网络——网络互动(抑制)	262
13.6.2 危险理论	264
13.7 未来应用的前景领域	266
13.8 诀窍	267
13.9 结论	268
附加信息源	268
参考文献	269
第 14 章 群智能	271
14.1 引言	271
14.2 蚁群优化(ACO)算法	271
14.2.1 示例 1: 基本的 ACO 和 TSP	273
14.2.2 示例 2: 基于种群的 ACO 和 TSP	275
14.2.3 示例 3: ACO 解决调度问题	276
14.2.4 ACO 算法的高级属性	278
14.2.5 ACO 在未来应用中的前景领域	280
14.3 粒子群优化	280
14.3.1 示例 1: 基本的 PSO 和连续函数优化	281
14.3.2 示例 2: 离散二进制 PSO 的子集问题	283
14.3.3 PSO 的高级属性	283
14.3.4 PSO 未来应用的前景领域	286

14.4	诀窍	287
14.5	结论	288
	额外信息源	288
	参考文献	289
第 15 章	模糊推理	294
15.1	引言	294
15.2	模糊集理论的基本定义	295
15.2.1	模糊集和隶属度的概念	295
15.2.2	隶属度函数	296
15.2.3	模糊集运算	299
15.2.4	变换算子	300
15.2.5	模糊集的笛卡儿内积	300
15.2.6	模糊关系	301
15.2.7	模糊集成	301
15.2.8	模糊蕴含	301
15.2.9	推理规则	302
15.2.10	逆问题	302
15.2.11	模糊相似度测度	302
15.3	模糊推理系统的基本结构	303
15.3.1	去模糊化单元	304
15.3.2	规则库的设计	305
15.4	案例研究:模糊控制系统	306
15.4.1	模糊逻辑控制闭环	306
15.4.2	比例积分(PI)和比例微分(PD)形式的模糊逻辑控制器	306
15.4.3	示例	307
15.4.4	模糊自适应控制方法	310
15.5	模型辨识与模糊系统稳定性	312
15.5.1	模糊系统建模	312
15.5.2	模糊系统的稳定性	313
15.6	诀窍	313
15.7	结论与展望	314
	附加信息来源	315
	参考文献	315
第 16 章	基于粗糙集的决策支持	322
16.1	引言	322
16.2	粗糙集基础	323
16.2.1	通过示例进行的说明	323

16.2.2	经典粗糙集方法的正式描述	327
16.2.3	由粗近似导出的决策规则	329
16.2.4	由不可区分性到相似性	330
16.3	知识发现的范式以及先验知识	331
16.4	基于支配的粗糙集方法	334
16.4.1	基于支配锥的粒计算	334
16.4.2	决策规则的导出	338
16.4.3	一个示例	340
16.5	用于多判据选择和排名的基于支配的粗糙集方法	343
16.5.1	作为偏好信息和学习样本的成对比较表	344
16.5.2	成对比较表给定的排名不低于和排名低于关系的粗近似	345
16.5.3	由排名不低于和排名低于关系的粗近似导出决策规则	347
16.5.4	将决策规则用于决策支持	347
16.5.5	说明性示例	348
16.5.6	总结	350
16.6	诀窍	351
16.7	结论与有前景的未来研究领域	352
	附加信息源	353
	参考文献	353
第 17 章	超启发式	358
17.1	超启发式的概念	358
17.2	一个简单的例子：装箱问题	360
17.3	简要概述	363
17.4	一些研究问题	363
17.4.1	没有免费午餐	363
17.4.2	什么是问题族	364
17.4.3	应该选择什么启发式	365
17.4.4	应该使用什么搜索算法	365
17.4.5	在搜索中，如何评估性能	365
17.4.6	应该寻找什么类型的算法	366
17.5	未来应用的前景领域	366
17.5.1	时间表	366
17.5.2	带时间窗的车辆路径	367
17.5.3	其他前景领域	368
17.6	诀窍	369
17.6.1	滑雪旅馆问题	369
17.6.2	构造性方法的简单框架	373
	附加信息源	374

参考文献	374
第 18 章 近似算法	378
18.1 引言	378
18.2 近似策略	380
18.2.1 预备知识	380
18.2.2 贪婪方法	382
18.2.3 序贯算法	386
18.2.4 随机化	388
18.3 近似类一览	389
18.3.1 PTAS 和 FPTAS	389
18.3.2 APX	390
18.3.3 PCP 简介	391
18.4 近似与随机算法有前景的应用领域	391
18.4.1 随机回溯与后门	391
18.4.2 用于引导完全回溯搜索的近似	392
18.4.3 平均情况下的复杂度和近似	392
18.5 诀窍	393
18.6 结论	393
附加信息源	394
参考文献	395
第 19 章 适应度曲面	398
19.1 历史回溯	398
19.2 组合优化	399
19.3 数学描述	402
19.3.1 邻域结构	402
19.3.2 局部最优	403
19.3.3 吸引域	404
19.3.4 图表示	404
19.3.5 拉普拉斯矩阵	405
19.3.6 图的特征系统	405
19.3.7 重组曲面	407
19.3.8 总结	407
19.4 统计度量	408
19.4.1 自相关	408
19.4.2 最优解的数量	408