

TURING

图灵数学 · 统计学丛书 28

PEARSON

Prentice
Hall



Operations Research
An Introduction

运筹学导论
高级篇

(第8版)

[美] Hamdy A. Taha 著
薛毅 刘德刚 朱建明 侯思祥 译
韩继业 审校

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

TURING

图灵数学 · 统计学丛书 28

PEARSON

Prentice
Hall



Operations Research
An Introduction

运筹学导论
高级篇

(第8版)

[美] Hamdy A. Taha 著
薛毅 刘德刚 朱建明 侯思祥 译
韩继业 审校

人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

运筹学导论: 第8版, 高级篇/(美)塔哈(Taha, H. A.)
著; 薛毅等译. —北京: 人民邮电出版社, 2008. 12

(图灵数学·统计学丛书)

书名原文: Operations Research: An Introduction

ISBN 978-7-115-18947-9

I. 运… II. ①塔… ②薛… III. 运筹学 IV. O22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 154117 号

内 容 提 要

本书是运筹学方面的经典著作之一, 为全球众多高校采用. 高级篇共 12 章, 内容包括高级线性规划、概率论基础复习、随机库存模型、仿真模型、马尔可夫链、经典最优化理论、非线性规划算法、网络和线性规划算法进阶、预测模型、随机动态规划、马尔可夫决策过程、案例分析等, 并附有统计表、部分习题答案、向量和矩阵复习, 以及应用案例.

本书可作为高等院校经管类专业和数学专业的教材, 也可供 MBA 及相关研究人员参考.

图灵数学·统计学丛书

运筹学导论: 高级篇(第8版)

-
- ◆ 著 [美] Hamdy A. Taha
 - 译 薛毅 刘德刚 朱建明 侯思祥
 - 审校 韩继业
 - 责任编辑 明永玲
 - 执行编辑 张继发
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址: <http://www.ptpress.com.cn>
北京铭成印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 700×1000 1/16
印张: 24.5
字数: 521 千字
印数: 1-3 000 册

著作权合同登记号 图字: 01-2006-5778 号

ISBN 978-7-115-18947-9/O1

定价: 59.00 元

读者服务热线: (010)88593802 印装质量热线: (010) 67129223

反盗版热线: (010)67171154



版 权 声 明

Authorized translation from the English language edition, entitled: *Operations Research: An Introduction, Eighth Edition*, ISBN 013-188923-0 by Hamdy A. Taha, published by Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall. Copyright © 2007.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD. and POSTS & TELECOM PRESS Copyright © 2008.

本书中文简体字版由 Pearson Education Asia Ltd. 授权人民邮电出版社独家出版. 未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书内容.

本书封面贴有 Pearson Education(培生教育出版集团) 激光防伪标签, 无标签者不得销售.

版权所有, 侵权必究.

译者序

运筹学起源于 20 世纪二次大战期间, 是一门应用性很强的学科. 1938 年, 英国皇家空军部门在 Bawdsey 成立了一个从事作战研究的科学家小组, 小组的科学家把他们的研究工作称为 “operational research” (“operation” 在军事术语中意为 “作战”). 这是 “运筹学” 一词最早出现于文献的时间. “二战” 中英军每一个大的指挥部大都成立了这种运筹研究小组. 之后, 美国和加拿大的军事部门也成立了若干运筹研究小组 (美国称这种研究工作为 “operations research”). 他们广泛地研究有关战果评价、战术革新、技术援助、战略选择和战术计划等问题. “二战” 期间英、美、加等国军事部门的运筹研究小组的工作为同盟国战胜德、意、日等轴心国做出了卓越的贡献. 对于人类社会的科学进程而言, 这些科学家的集体工作和智慧开创了一门崭新的学科——运筹学.

体现运筹学思想和方法的某些早期先驱性的研究工作, 可以追溯到 20 世纪初期. 例如, 1908 年丹麦工程师埃尔朗提出的电话话务理论是运筹学中排队论 (queueing theory) 的起源; 1916 年英国的兰彻斯特提出的战斗模型方程是军事运筹学早期的一项重要成果; 1939 年前苏联数学家坎托罗维奇在 *The Mathematical Method of Production Planning and Organization* 一书中, 开创性地提出线性规划, 并研究了工业生产的资源合理利用和计划等问题, 这一卓越贡献使他获得了 1975 年诺贝尔经济学奖; 基本的对策均衡的思想可追溯到 1838 年库尔诺的文章, 1913 年的德国策梅洛提出了抽象战略对策的数学模型, 1928 年冯·诺依曼提出了二人零和对策的解的一般理论, 这些是关于对策论的早期的研究. 上述这些先驱性成就对以后运筹学的发展有着深远的影响.

“二战” 以后, 美国等国家的军事部门保留和调整了运筹研究组, 人员编制得到了扩大, 运筹学有了新的发展. 1949 年美国成立了著名的兰德 (RAND) 公司. 与此同时, 许多运筹学工作者从军方转入企业、大学或政府部门. 在新的更宽阔的环境中, 运筹学的应用研究和理论研究得到了蓬勃发展, 多年来它已为欧美等国创造了数以亿计的社会财富.

简略地说, 运筹学的研究对象是现实世界中的运行系统, 这些运行系统的设计和运转受到管理人员的决策的影响和作用. 运筹学创造出一些理论 (包括数学模型) 和方法, 用来描述与分析这些运行系统的现象、性质和变化, 以寻求影响和作用于运行系统的设计与运转的最有效 (最优) 的决策, 发挥有限资源的最大效益, 使得运行系统达到总体最优的目标.

半个世纪以来, 运筹学在研究与解决各种复杂的实际问题中不断地得到创新和发展, 新模型、新理论和新方法不断涌现, 至今它已成为一个庞大的学科, 包括线性的和非线性的、连续的和离散的、确定性的和不确定性的许多分支. 运筹学的基本方法中有数学方法、统计学方法、仿真 (模拟) 方法、计算机科学方法等, 其中各种优化方法处于非常重要的地位.

运筹学的非凡价值,使得在许多国家的大学里的运筹学系、管理科学系、经济学系、工业工程系、系统科学系、数学系、计算科学系等早已开设了关于运筹学及其一些分支学科的课程.我国的情况也大致如此.从适应于不同院系专业的学生学习运筹学来考虑,一本好的运筹学基础的教科书十分重要.在国外关于运筹学基础的诸多教材中,Hamdy A. Taha 著的 *Operations Research, An Introduction* 是非常优秀的一本. Taha 是美国阿肯色大学工业学院工业工程教授,世界知名运筹学家.他著的这本书最早出版于 1968 年.多年来此书经过多次修改与扩增,今年已出版了第 8 版.本书被世界上多所大学采用为运筹学基础教材,已有西班牙文、日文、俄文、土耳其文、印尼文等多种译本出版.它有三大重要特色.一是内容广泛,取材得当.连同附带的光盘,共有 24 章和 5 个附录,内容涉及线性规划、运输问题、网络问题、目标规划、整数规划、动态规划、库存问题、非线性规划等确定性运筹分支,以及随机动态规划、随机库存问题、排队系统、马尔可夫决策过程、决策分析、对策论、模拟问题、预报问题等随机性运筹分支.这些内容覆盖了迄今运筹学所研究的大部分重要问题.该书在取材上首先重视对上述运筹问题的基本知识的讲解,但对某些问题也包括了较高深的内容,以满足不同读者的需要.二是突出实用性.书中各章总是通过若干实际问题的求解来引导出所要讲的运筹问题的数学模型.这既凸显出这些运筹问题的实际背景,也可使读者学到如何进行建模.第 24 章详细地介绍了 15 个实际应用案例,运用了多种运筹学技术进行建模、数据采集以及求解计算等.附录 E 中还收录了近 50 个应用例子.作者精心收集和分析的这些实例来源于工业、商业、金融、社会、体育、娱乐等许多行业,是很好的运筹学教学资料.三是计算方法与软件相结合.全书使用教学辅助软件 TORA、电子表格程序 Excel 及 AMPL 等.读者可以利用这些软件工具对所学的模型和计算方法进行计算和检验.

在我国运筹学基础一类的图书拥有大量读者,这类图书的累计销售量有的已达几十万册.但国内目前这类书籍只有很少几种.2006 年人民邮电出版社图灵公司邀我们翻译新出版的《运筹学导论(第 8 版)》,这体现了出版社对发展我国运筹学的重视.由于书的篇幅宏大,有 1 000 多页,中译本分成上下两册出版,同时将附录 C 和索引拆分到了上下两册,其中附录 C 放在了图灵网站(www.turingbook.com)上供读者免费注册下载.上册主要包括原书中属于基础部分的 12 章,以及附录 A;下册主要包括属于提高部分的 12 章,以及附录 B, D, E.每册均可用做一个学期的教材.本书第 2, 3, 4, 13 章及附录 A 由薛毅教授翻译,第 5 章由侯思祥教授翻译,第 6, 7, 8, 16, 20 章及附录 C 由朱建明博士翻译,其余各章及附录 B, D, E 由刘德刚博士翻译,全部译稿由我校阅.中译本难免有疏漏和翻译不妥之处,敬请读者给予指正.

韩继业

2007 年 5 月于中科院

前 言

本书第 8 版对教材内容作了很多的修订,在教材的编排上突出反映运筹学中的应用问题和计算方法.

- 第 2 章通过城市规划、货币套利交易、投资、生产计划、混合配比、排序以及下料等实际问题的应用,主要介绍了线性规划的建模.新增加的节后习题也涉及从水质管理、交通控制到军事领域等多个运筹问题.
- 第 3 章以一种简单和直接的方式介绍了一般性的线性规划灵敏度分析,包括对偶价格和简约费用,作为单纯性表计算部分的直接扩充.
- 本版的第 4 章主要是基于对偶性进行线性规划后最优分析.
- 针对旅行商问题 (Traveling Salesperson Problem, TSP),介绍了一个基于 Excel 的组合式最近邻点反向启发式算法.
- 新增的第 17 章扩充了马尔可夫链的处理方法.
- 在全新的第 24 章里,详细介绍了 15 个实际应用案例.对这些案例的分析通常涉及多种 OR 技术 (例如启发式算法和线性规划,或者整数线性规划和排队论),用来进行建模、数据采集以及问题的求解计算等.这些应用问题在相关的各章里都有引用,让读者能够充分了解在实际生活中如何运用运筹学技术.
- 新的附录 E 收录了按照章节排列的约 50 个小型实用问题的例子.
- 本书还包含了 1 000 多个节后习题,其中题前标有星号 (*) 的表示附录 C 给出了相应的答案.
- 每章开头都有**本章导读**,帮助读者了解教材内容,有效利用附带的软件程序.
- 把教材与软件相结合可以让读者对需要深入介绍的概念进行实际检验.
 1. 全书都用到了 Excel 程序,包括动态规划、旅行商问题、库存问题、层次分析法、贝叶斯概率、“电子化”统计表、排队问题、模拟、马尔可夫链以及非线性规划等.一些程序中的交互式用户输入功能有助于对相应方法的更好理解.
 2. 对 Excel 规划求解程序的使用扩展到了全书,特别用在线性规划、网络规划、整数规划和非线性规划问题.
 3. AMPL[®] 是一种强大的商业化建模语言,本书将 AMPL 结合在大量的例题中,这些例子涉及线性、网络、整数和非线性规划问题.附录 A 给出了 AMPL 的语句规则以及本书例题中所引用的语言素材.
 4. 本书中, TORA 仍然充当教学软件的重要角色.
- 所有与计算机相关的材料都相对独立,有的作为单独的章节,有的按照标题 AMPL/Excel/Solver/TORA 程序作为一小节,以尽量不影响本书的主要内容介绍.

为了限制本书的页数,我们把一些小节、一部分整章以及两个附录都放在了附带的光盘里.作者根据运筹学导论课程中不太经常用到的内容截选下来,放在光盘里.^①

致 谢

我首先要感谢新泽西理工学院的 Layek L. Abdel-Malek、路易斯安那州立大学的 Evangelos Triantaphyllou、俄克拉荷马州立大学的 Michael Branson、中央佛罗里达大学的 Charles H. Reilly 以及弗吉尼亚技术学院及州立大学的 Mazen Arafeh,他们对本书的第 7 版提供了重要的修改意见.我要特别感谢下面两位学者,因为他们让我在第 8 版写作期间的思路受到了很大启迪:R. Michael Harnett (堪萨斯州立大学)多年来在本书的组织和内容方面给我提供了许多宝贵的建议;Richard H. Bernhard (北卡罗来纳州立大学)对第 7 版所提出的详细改进意见促使本版对前面若干章做了重新调整.

Robert Fourer (西北大学)针对本版介绍的 AMPL 内容耐心地提出了宝贵的建议,我衷心地感谢他对这些内容的编辑所提供的帮助,并感谢他的修改建议,使得这部分内容读起来更通畅.我还要感谢他的帮忙,让我们能在附带的光盘中包含 AMPL 学生版以及 CPLEX、KNITRO、LPSOLVE、LOQO 以及 MINOS 等求解程序.^②

我一直对我的同事们以及很多的学生们深表感激,感谢他们的建议和鼓励.我这里要特别感谢 Yuh-Wen Chen (台湾大叶大学)、Miguel Crispin (得克萨斯大学 El Paso 分校)、David Elizandro (田纳西技术大学)、Rafael Gutiérrez (得克萨斯大学 El Paso 分校)、Yasser Hosni (中央佛罗里达大学)、Erhan Kutanoglu (得克萨斯大学奥斯汀分校)、Robert E. Lewis (美军管理工程学院)、Gino Lim (休斯顿大学)、Scott Mason (阿肯色大学)、Heather Nachtman (阿肯色大学)、Manuel Rossetti (阿肯色大学)、Tarek Taha (JB Hunt 公司),以及 Nabeel Yousef (中央佛罗里达大学),谢谢他们对我的支持和帮助.

我还要对 Pearson Prentice Hall 出版社的编辑出版组的 Dee Bernhard (副总编)、David George (生产经理)、Bob Lentz (文字编辑)、Craig Little (技术编辑),以及 Holly Stark (高级组稿编辑)表达我的衷心谢意,感谢他们在本书出版期间的出色工作.

HAMDY A. TAHA

hat@uark.edu

<http://ineg.uark.edu/TahaORbook/>

^① 光盘中的这些内容已放在本书的高级篇中. —— 编者注

^② 这些内容可到图灵网站 www.turingbook.com 下载. —— 编者注

目 录

第 13 章 高级线性规划	517	第 15 章 随机库存模型	576
13.1 单纯形法的基本原理	517	15.1 连续盘点模型	576
13.1.1 从极点到基本解	519	15.1.1 “概率化”的 EOQ 模型	576
13.1.2 广义单纯形表的矩阵表 示形式	523	15.1.2 随机 EOQ 模型	579
13.2 修正单纯形法	525	15.2 单周期模型	583
13.2.1 最优性条件与可行性条件 的建立	526	15.2.1 没有订货费的模型 (报 摊模型)	583
13.2.2 修正单纯形算法	528	15.2.2 带有订货费的模型 (s - S 策略)	586
13.3 有界变量算法	533	15.3 多周期模型	589
13.4 对偶	539	参考文献	591
13.4.1 对偶问题的矩阵定义	539	第 16 章 仿真模型	592
13.4.2 最优对偶解	540	16.1 蒙特卡罗仿真	592
13.5 参数线性规划	544	16.2 仿真的类型	597
13.5.1 C 中的参数变化	544	16.3 离散事件仿真的要素	598
13.5.2 b 中的参数变化	547	16.3.1 事件的一般定义	598
参考文献	550	16.3.2 从概率分布中抽样	599
第 14 章 概率论基础复习	551	16.4 随机数的生成	608
14.1 概率原理	551	16.5 离散仿真的方法	610
14.1.1 概率的加法律	552	16.5.1 单服务台模型的人工 仿真	610
14.1.2 条件概率定律	553	16.5.2 单服务台模型电子表 格仿真	615
14.2 随机变量与概率分布	554	16.6 收集统计观测数据的方法	617
14.3 随机变量的期望	556	16.6.1 子区间法	618
14.3.1 随机变量的平均值和方 差 (标准差)	558	16.6.2 重复实验方法	619
14.3.2 联合随机变量的平均值 和方差	559	16.6.3 再生 (循环) 方法	620
14.4 4 种常用概率分布	562	16.7 仿真语言	622
14.4.1 二项分布	562	参考文献	624
14.4.2 泊松分布	563	第 17 章 马尔可夫链	625
14.4.3 负指数分布	564	17.1 马尔可夫链的定义	625
14.4.4 正态分布	565	17.2 绝对转移概率和 n 步转移 概率	628
14.5 经验分布	568		
参考文献	575		

17.3	马尔可夫链中状态的分类	630	20.3.1	内点算法的基本思想	724
17.4	遍历链的稳定状态概率和平均返回时间	632	20.3.2	内点算法	725
17.5	首次通过时间	637		参考文献	734
17.6	对吸收状态的分析	641	第 21 章 预测模型		735
	参考文献	645	21.1	移动平均技术	735
第 18 章 经典最优化理论		647	21.2	指数平滑	739
18.1	无约束问题	647	21.3	回归	740
18.1.1	必要条件和充分条件	648		参考文献	743
18.1.2	Newton-Raphson 方法	651	第 22 章 随机动态规划		744
18.2	约束问题	654	22.1	一种机会游戏	744
18.2.1	等式约束问题	654	22.2	投资问题	746
18.2.2	不等式约束问题: Karush-Kuhn-Tucker (KKT) 条件	665	22.3	最大化实现某个目标的事件	750
	参考文献	670		参考文献	754
第 19 章 非线性规划算法		671	第 23 章 马尔可夫决策过程		755
19.1	无约束算法	671	23.1	马尔可夫决策问题的范围	755
19.1.1	直接搜索方法	671	23.2	有限阶段的动态规划模型	756
19.1.2	梯度方法	675	23.3	无穷多阶段模型	760
19.2	约束算法	678	23.3.1	穷举法	760
19.2.1	可分离规划	678	23.3.2	不带折扣的策略迭代方法	763
19.2.2	二次规划	687	23.3.3	带有折扣的策略迭代方法	766
19.2.3	机会约束规划	692	23.4	线性规划解	769
19.2.4	线性组合方法	696		参考文献	772
19.2.5	SUMT 算法	699	第 24 章 案例分析		773
	参考文献	699	案例 1	利用最优机动加油量制定航空公司的燃油使用计划	774
第 20 章 网络与线性规划算法进阶		701	案例 2	心脏瓣膜的最优生产计划	781
20.1	带有容量限制的最小费用流问题	701	案例 3	澳大利亚旅游委员会关于旅游产品交易会的会面安排问题	784
20.1.1	网络表示	701	案例 4	节省联邦政府的旅费支出	789
20.1.2	线性规划模型	704	案例 5	泰国海军运送新兵最优行船路线及人员指派问题	792
20.1.3	带有容量限制的网络的单纯形算法	709	案例 6	Mount Sinai 医院手术室的时间分配问题	798
20.2	分解算法	715	案例 7	PFG 建材玻璃公司的拖车有效荷载优化问题	802
20.3	Karmarkar 内点算法	724			

案例 8	Weyerhaeuser 木材切割及 圆木分配的优化问题 ····· 810	D.1.2	向量的相加 (相减) ····· 843
案例 9	计算机集成制造 (CIM) 设施 的布局规划 ····· 814	D.1.3	标量与向量的乘积 ····· 843
案例 10	旅店客房的预定上限 问题 ····· 821	D.1.4	线性无关向量 ····· 843
案例 11	Casey 问题: 对一次全新化 验结果的解释和评估 ····· 823	D.2	矩阵 ····· 844
案例 12	莱德杯决赛中高尔夫球手的 出场顺序安排 ····· 827	D.2.1	矩阵的定义 ····· 844
案例 13	戴尔供应链的库存决策 ····· 829	D.2.2	各种类型的矩阵 ····· 844
案例 14	某制造厂内部运输系统的 分析 ····· 832	D.2.3	矩阵的代数运算 ····· 845
案例 15	Qantas 航空公司电话售票 人力资源计划问题 ····· 834	D.2.4	正方矩阵的行列式 ····· 846
附录 B ^①	统计表 ····· 840	D.2.5	非奇异矩阵 ····· 847
附录 C(下) ^②	部分习题答案 (图灵网站下载)	D.2.6	非奇异矩阵的逆 矩阵 ····· 848
附录 D	向量和矩阵复习 ····· 843	D.2.7	矩阵求逆的计算 方法 ····· 848
D.1	向量 ····· 843	D.2.8	用 Excel 进行矩阵 运算 ····· 852
D.1.1	向量的定义 ····· 843	D.3	二次型 ····· 853
		D.4	凸函数和凹函数 ····· 855
			参考文献 ····· 856
		附录 E	应用案例 ····· 857
		索引	····· 888

① 附录 A 在本书的初级篇中。——编者注

② 附录 C(上) 属本书初级篇。读者均可到图灵网站免费注册下载。——编者注

(初级篇) 目录

第 1 章 什么是运筹学1	
1.1 运筹学模型.....1	
1.2 运筹学模型的求解.....4	
1.3 排队模型和模拟模型.....4	
1.4 建模的艺术.....5	
1.5 仅有数学是不够的.....6	
1.6 运用运筹学的几个步骤.....7	
1.7 关于本书.....8	
参考文献.....9	
第 2 章 线性规划建模10	
2.1 二维变量的线性规划模型.....11	
2.2 线性规划的图解法.....14	
2.2.1 极大化模型的解.....14	
2.2.2 极小化模型的解.....21	
2.3 线性规划应用选讲.....24	
2.3.1 城市规划.....24	
2.3.2 套汇.....29	
2.3.3 投资.....34	
2.3.4 生产计划和库存控制.....38	
2.3.5 混合与精炼.....47	
2.3.6 人力规划.....52	
2.3.7 其他应用.....55	
2.4 借助于 Excel 规划求解和 AMPL 软件的计算机求解.....63	
2.4.1 用 Excel 规划求解线性规划问题.....63	
2.4.2 用 AMPL 解线性规划问题.....67	
参考文献.....74	
第 3 章 单纯形方法和灵敏度分析75	
3.1 等式形式的线性规划模型.....76	
3.1.1 将不等式转化为带有非负右端项的等式约束.....76	
3.1.2 处理无限制变量.....77	
3.2 从图形解到代数解的转换.....79	
3.3 单纯形方法.....83	
3.3.1 单纯形方法的迭代本质.....83	
3.3.2 单纯形算法的计算细节.....85	
3.3.3 单纯形法的总结.....91	
3.4 人工初始解.....95	
3.4.1 大 M 方法.....95	
3.4.2 两阶段法.....99	
3.5 单纯形方法中的特殊情况.....103	
3.5.1 退化.....103	
3.5.2 可选择最优解.....106	
3.5.3 无界解.....108	
3.5.4 不可行解.....110	
3.6 灵敏度分析.....111	
3.6.1 图形灵敏度分析.....112	
3.6.2 代数灵敏度分析——右端项的变化.....117	
3.6.3 代数灵敏度分析——目标函数.....127	
3.6.4 用 TORA、Excel 规划求解和 AMPL 作灵敏度分析.....133	
参考文献.....136	
第 4 章 对偶性与后最优分析137	
4.1 对偶问题的定义.....137	
4.2 原始-对偶关系.....141	
4.2.1 简单矩阵运算的复习.....141	
4.2.2 单纯形表的布局图.....143	
4.2.3 最优对偶解.....144	
4.2.4 单纯形表的计算.....149	
4.3 对偶的经济学解释.....153	
4.3.1 对偶变量的经济学解释.....153	

4.3.2 对偶约束的经济学 解释·····	155	6.5.2 关键路径 (CPM) 的 计算·····	258
4.4 其他单纯形算法·····	157	6.5.3 建立时间表·····	261
4.4.1 对偶单纯形算法·····	157	6.5.4 CPM 的线性规划 模型·····	267
4.4.2 广义单纯形算法·····	161	6.5.5 PERT 网络·····	268
4.5 后最优分析·····	163	参考文献·····	271
4.5.1 影响可行性的变化·····	164	第 7 章 目标规划 ·····	272
4.5.2 影响最优性的变化·····	168	7.1 建立目标规划模型·····	272
参考文献·····	172	7.2 求解目标规划的算法·····	277
第 5 章 各种运输模型 ·····	173	7.2.1 权和法·····	277
5.1 运输模型的定义·····	174	7.2.2 设定优先权法·····	279
5.2 非传统运输模型·····	180	参考文献·····	287
5.3 运输算法·····	185	第 8 章 整数线性规划 ·····	288
5.3.1 初始解的确定·····	186	8.1 应用实例·····	288
5.3.2 运输算法的迭代计算·····	190	8.1.1 资本预算·····	289
5.3.3 乘子法的单纯形方法 解释·····	198	8.1.2 集合覆盖问题·····	292
5.4 指派模型·····	199	8.1.3 固定费用问题·····	298
5.4.1 匈牙利算法·····	200	8.1.4 “或者-或者”和“如果- 那么”约束·····	302
5.4.2 匈牙利算法的单纯形 解释·····	205	8.2 整数规划算法·····	307
5.5 转运模型·····	207	8.2.1 分支限界 (B&B) 算法·····	307
参考文献·····	212	8.2.2 割平面算法·····	315
第 6 章 网络模型 ·····	213	8.2.3 整数线性规划的计算性 分析·····	321
6.1 网络模型的应用范围与定义·····	213	8.3 旅行商问题 (TSP)·····	321
6.2 最小生成树算法·····	217	8.3.1 启发式算法·····	325
6.3 最短路径问题·····	221	8.3.2 B&B 算法·····	328
6.3.1 最短路径应用的实例·····	221	8.3.3 割平面算法·····	332
6.3.2 最短路径算法·····	224	参考文献·····	334
6.3.3 最短路径问题的线性 规划模型·····	233	第 9 章 确定性动态规划 ·····	336
6.4 最大流模型·····	239	9.1 DP 计算的递归性质·····	336
6.4.1 枚举割·····	240	9.2 前向递归与后向递归·····	340
6.4.2 最大流算法·····	241	9.3 DP 应用选讲·····	342
6.4.3 最大流问题的线性规划 模型·····	249	9.3.1 背包/飞行箱/装船问题 的模型·····	342
6.5 关键路径方法和计划评审 技术·····	252	9.3.2 劳动力规模模型·····	350
6.5.1 网络表示·····	253	9.3.3 设备更新模型·····	352

9.3.4 投资模型·····	356	12.4.2 纯灭模型·····	441
9.3.5 库存模型·····	359	12.5 广义泊松排队模型·····	443
9.4 维度问题·····	359	12.6 特殊泊松队列·····	448
参考文献·····	361	12.6.1 队列行为的平稳状态 度量·····	449
第 10 章 确定性库存模型 ·····	362	12.6.2 单服务台模型·····	453
10.1 一般库存模型·····	362	12.6.3 多服务台模型·····	461
10.2 需求在库存模型中的作用·····	363	12.6.4 机器侍服模型—— $(M/$ $M/R) : (GD/K/K)$, $R < K$ ·····	470
10.3 静态经济订货量 (EOQ) 模型·····	365	12.7 $(M/G/1) : (GD/\infty/\infty)$ —— Pollaczek-Khintchine(P-K) 公式·····	473
10.3.1 经典 EOQ 模型·····	365	12.8 其他排队模型·····	475
10.3.2 分段价格的 EOQ 模型·····	370	12.9 排队决策模型·····	476
10.3.3 带有储存上限的多货 品 EOQ 模型·····	373	12.9.1 费用模型·····	476
10.4 动态 EOQ 模型·····	377	12.9.2 渴望水平模型·····	480
10.4.1 不带订货费的模型·····	378	参考文献·····	482
10.4.2 带有订货费的模型·····	382	附录 A AMPL 建模语言 ·····	483
参考文献·····	392	A.1 初识 AMPL 模型·····	483
第 11 章 决策分析与对策 ·····	393	A.2 AMPL 模型的组成·····	484
11.1 确定型决策——层次分析法 (AHP)·····	393	A.3 数学表达式和计算参数·····	492
11.2 风险型决策·····	403	A.4 子集和指标集·····	495
11.2.1 基于决策树的期望值 指标·····	404	A.5 存取外部文件·····	497
11.2.2 期望值指标的各种 变化·····	409	A.5.1 简单读文件·····	497
11.3 不确定型决策·····	417	A.5.2 用 print 或 printf 将 输出写到文件·····	499
11.4 对策论·····	421	A.5.3 输入表文件·····	499
11.4.1 二人零和对策的最 优解·····	422	A.5.4 输出表文件·····	502
11.4.2 求解混合策略对策·····	425	A.5.5 电子表格形式的输入/输 出表·····	504
参考文献·····	430	A.6 交互式命令·····	505
第 12 章 排队系统 ·····	431	A.7 迭代和有条件地执行 AMPL 命令·····	506
12.1 为什么要研究排队系统·····	431	A.8 用 AMPL 作灵敏度分析·····	508
12.2 排队模型的要素·····	433	参考文献·····	509
12.3 指数分布的作用·····	434	附录 C(上) 部分习题答案 (图灵网站下载)	
12.4 纯生模型和纯灭模型(指数分 布和泊松分布之间的关系)·····	437	索引 ·····	510
12.4.1 纯生模型·····	438		

第 13 章 高级线性规划

本章导读 本章介绍线性规划与对偶理论的数学基础, 讲述许多简洁高效的算法, 包括修正单纯形法、有界变量和参数规划. 第 20 章将介绍处理大规模线性规划的两种附加算法: 分解算法和 Karmarkar 内点算法.

本章的内容用到了很多矩阵代数的知识. 附录 D 复习了矩阵代数的内容.

本章应该特别注意的 3 个要点是: 修正单纯形法、有界变量算法和参数规划. 在修正单纯形法中, 矩阵代数用来很好地控制机器舍入误差, 这个问题在第 3 章介绍的行运算方法中曾经提到过. 有界变量算法在整数规划的分支定界算法 (见第 8 章) 中起着重要的作用. 参数规划在线性规划模型上添加了动态参数, 从而能够得出模型的参数连续变化后所带来的最优解的变化结果.

总结第 3 章中的以简单易懂的单纯形表形式所表示的矩阵运算结果, 将有助于深入理解修正单纯形算法、有界变量算法、分解算法以及参数规划的细节内容. 尽管采用矩阵运算使算法显得似乎不同, 但其理论与第 3 章的内容完全一致.

本章共包括 1 个实际问题的应用、8 个例题、58 个节后习题和 4 个章后综合问题. 综合问题汇总在附录 E 中. AMPL/Excel/Solver/TORA 程序在文件夹 ch13Files 中.

实际应用——泰国海军运送新兵最优行船路线与人员指派

泰国海军每年征兵 4 次. 招募的新兵到全国 34 个征兵中心报到, 然后由汽车运送到 4 个海军分基地. 从那里, 再用船将新兵们送到海军总基地. 分基地的码头对靠岸的船型有一定的限制. 分基地的运送能力是有限的, 但就整体而言, 4 个分基地有充分的能力运送所有的应征者. 在 1983 年夏季, 共有 2 929 名新兵从征兵中心被送到 4 个分基地, 最终被送到总基地. 问题是要确定运送新兵的最优计划安排, 首先从征兵中心到分基地, 然后从分基地到总基地. 这项研究综合运用了线性规划与整数规划. 其具体细节见第 24 章的案例 5.

13.1 单纯形法的基本原理

在线性规划中, 如果连接任意两个不同可行点所形成的线段还落在可行集合内, 则称可行解空间构成一个**凸集**(convex set). 凸集的**极点**(extreme point) 是一个可行点, 但不能位于连接可行集合中任意两个不同可行点的线段上. 实际上, 极

点与角点是相同的, 但角点用于第 2 章至第 4 章更为合适.

图 13.1 画出了两个集合. 集合 (a), 线性规划解空间的典型形式, 是一个 (具有 6 个极点的) 凸集, 而集合 (b) 不是凸集.

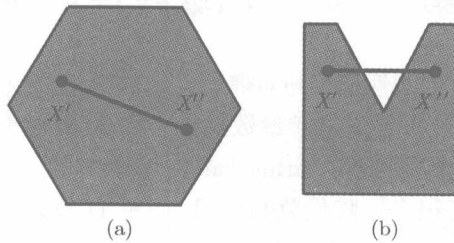


图 13.1 凸集与非凸集的例子

在 2.3 节介绍的线性规划的图解法中, 我们说明了, 最优解总是与解空间中某个可行的极点 (角点) 相关. 这个结果有着直观的意义, 因为在线性规划解空间中, 每个可行点能够由其可行极点的函数来确定. 例如, 在图 13.1 的凸集 (a) 中, 可行点 X 可以表示成其极点 $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ 的凸组合 (convex combination), 其表达式为

$$X = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4 + \alpha_5 X_5 + \alpha_6 X_6$$

其中

$$\begin{aligned} \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 + \alpha_6 &= 1 \\ \alpha_i &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, 6 \end{aligned}$$

这个观察结果说明, 解空间是完全可以由极点来确定的.

例 13.1-1

证明: 集合

$$C = \{(x_1, x_2) \mid x_1 \leq 2, x_2 \leq 3, x_1 \geq 0, x_2 \geq 0\}$$

是凸集.

令 $X_1 = (x'_1, x'_2)$ 和 $X_2 = (x''_1, x''_2)$ 是 C 中任意两个不同的点. 如果 C 是凸集, 则 $X = (x_1, x_2) = \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2$, $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$, $\alpha_1, \alpha_2 \geq 0$ 必属于 C . 为了证明这是对的, 需要证明线段 X 满足 C 的所有约束, 即

$$x_1 = \alpha_1 x'_1 + \alpha_2 x''_1 \leq \alpha_1(2) + \alpha_2(2) = 2$$

$$x_2 = \alpha_1 x'_2 + \alpha_2 x''_2 \leq \alpha_1(3) + \alpha_2(3) = 3$$

因此, $x_1 \leq 2$ 且 $x_2 \leq 3$. 此外, 非负条件满足, 因为 α_1 和 α_2 都是非负的.

习题 13.1A

1. 证明: 集合 $Q = \{(x_1, x_2) \mid x_1 + x_2 \leq 1, x_1 \geq 0, x_2 \geq 0\}$ 是凸集. 非负条件是证明所必需的吗?

*2. 证明: 集合 $Q = \{(x_1, x_2) \mid x_1 \geq 1 \text{ 或 } x_2 \geq 2\}$ 不是凸集.

3. 用图形确定下面凸集的极点:

$$Q = \{(x_1, x_2) \mid x_1 + x_2 \leq 2, x_1 \geq 0, x_2 \geq 0\}$$

证明: 整个解空间能够由其极点的凸组合来确定. 因此可知, 一旦解空间的极点已知, 任意凸的 (有界) 解空间就被完全确定.

4. 在图 13.2(画有刻度) 的解空间中, 将内点 $(3, 1)$ 表示成极点 A, B, C, D 的凸组合, 而且每个极点的权数都严格为正.

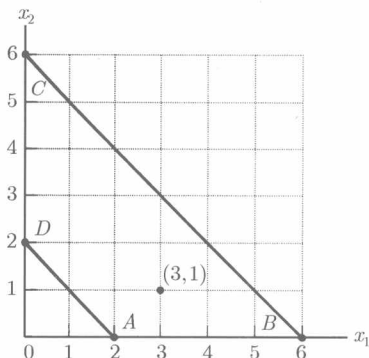


图 13.2 习题 13.1A 第 4 题的解空间

13.1.1 从极点到基本解

用矩阵记号表达具有等式形式的一般线性规划问题 (见 3.1 节) 是很方便的. 定义 X 为 n 维向量, 表示问题的变量; A 是 $m \times n$ 阶矩阵, 表示约束的系数; b 为列向量, 表示约束的右端项; C 是 n 维向量, 表示目标函数系数. 则线性规划可写成

$$\begin{aligned} \max \text{ 或 } \min \quad & z = CX \\ \text{s.t.} \quad & AX = b \\ & X \geq 0 \end{aligned}$$

用第 3 章的格式 (见图 4.1), 通过适当排列初始基本解中相应的松弛变量或人工变量, 总可以使矩阵 A 的最右边 m 列构成单位矩阵 I .

$AX = b$ 的基本解 (basic solution) 的定义如下: 令方程中的 $n - m$ 个变量等于零, 然后求解其余具有 m 个未知量的 m 个方程, 倘若得到的解是唯一的, 则其解为基本解. 有了这个定义, 线性规划的理论建立了极点的几何定义与基本解的代数定义之间的关系:

$$\{X \mid AX = b\} \text{ 的极点} \Leftrightarrow AX = b \text{ 的基本解}$$