

全国高等院校物流工程专业研究生规划教材 ::::

Practical Optimization
Technologies for
Logistics



物流

实用优化技术

靳志宏 计明军 ◎ 编著

中国物资出版社

全国高等院校物流工程专业研究生规划教材

物流实用优化技术

Practical Optimization Technologies
for Logistics

靳志宏 计明军 编著

中国物资出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

物流实用优化技术/靳志宏, 计明军编著. —北京: 中国物资出版社, 2008. 8

(全国高等院校物流工程专业研究生规划教材)

ISBN 978 - 7 - 5047 - 2891 - 3

I. 物… II. ①靳…②计… III. 物流 - 系统最优化 - 研究生 - 教材 IV. F252

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 097512 号

责任编辑 王宏琴

责任印制 何崇杭

责任校对 孙会香

中国物资出版社出版发行

网址: <http://www.clph.cn>

社址: 北京市西城区月坛北街 25 号

电话: (010) 68589540 邮政编码: 100834

全国新华书店经销

中国农业出版社印刷厂印刷

开本: 710mm × 1000mm 1/16 印张: 12.75 字数: 229 千字

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

书号: ISBN 978 - 7 - 5047 - 2891 - 3/F · 1197

印数: 0001—3000 册

定价: 23.00 元

(图书出现印装质量问题, 本社负责调换)

本书由

国家自然科学基金 (70572086)、(70572104)

教育部博士点基金 (20070151002)

辽宁省自然科学基金 (20052140)

资助出版

The published book is financed by

National Natural Science Foundation of China,

Grant No. 70572086 & 70572104;

Specialized Research Foundation for the Doctoral Program of Higher Education,

Grant No. 20070151002;

Natural Science Foundation of Liaoning Province,

Grant No. 20052140.

作者简介



靳志宏，男，1963年生。东北大学工学学士、东北大学工学硕士、名古屋工业大学工学博士，大连海事大学教授、博士生导师、物流工程与管理学科带头人、物流系统工程研究中心主任。曾任职于中国东北大学、日本名古屋工业大学；入选“辽宁省百千万人才工程”百层次人才。

主持的主要科研项目包括：日本文部科学省基盘研究项目 [(C) (2) No. 0968042; (C) (2) No. 14580477]、中国国家自然科学基金项目 (70571086; 70572104)、教育部博士点基金项目 (20070151002)、教育部留学回国基金项目、辽宁省自然科学基金项目 (20052140) 以及港航物流企业等横向项目。

主要研究论文发表在英文、日文、中文期刊上。包括：Computer & Industrial Engineering、Production and Operation Management、Asia-Pacific Journal of Operational Research、Japan Society of Mechanical Engineers、Applied Mathematics and Computation、International Journal of Production Economics、International Journal of Information and Management Science、International Journal of Logistics and SCM Systems、日本经营工学会誌、日本ロジスティクスシステム学会誌、复旦学报、湖南大学学报、东北大学学报、大连海事大学学报、武汉理工大学学报、交通运输工程学报、中国管理科学、中国航海、系统工程等。

目前主要学术兼职包括：Regional Editor of 《International Journal of Logistics & SCM Systems》；Members of the Editorial Board of 《International Journal of Shipping and Transport Logistics》；教育部高等学校物流类专业教学指导委员会委员；辽宁航海学会物流分会委员会主任等。

计明军，男，1973年生。内蒙古民族大学理学学士、内蒙古大学理学硕士、大连理工大学理学博士、英国剑桥大学博士后，现任大连海事大学副教授、硕士生导师。

主持和参与国家自然科学基金项目、教育部留学回国基金项目、英国皇家学会博士后奖学金以及港航物流企业等横向项目。

主要研究论文发表在 Proceedings of the Royal Society A, Chaos, Solitons & Fractals, Information Processing Letters, Applied Mathematics and Computation、运筹学学报、工程数学学报、复旦学报、交通运输工程学报、系统工程等国际和国内期刊。



前 言

现代化管理以及工程技术领域遇到的众多决策问题最终都可以归结为优化问题。其中,工程技术领域的优化问题大都为连续优化问题;而管理领域的优化问题大都为离散优化问题。对于现实优化问题,求解其全局最优解是非常困难的,甚至常常是不可能的,只能求得其局部最优解。基于此,优化技术可分为求解全局最优解的精确解技术以及求解局部最优解的近似解技术。本书重点针对的是后者。

优化技术就是在满足约束条件的可行解集合内寻求全局最优解、局部最优解的过程中所应用的理论与方法,涉及运筹学理论与计算机技术等学科的交叉领域,具体包括数学建模、约束处理、算法设计以及程序设计等环节。本书是围绕上述优化过程的核心环节——算法设计来进行阐述的。数学建模与程序设计环节的内容将在本书的优化技术基础中简单阐述,有关这两方面的更详尽的内容需参考相应的运筹学与计算机编程技术书籍。约束处理方面的内容在本书相应的章节中也得以体现。

本书是在大连海事大学物流工程与管理(082322)、交通运输规划与管理(082303)两学科研究生的同名课程讲义的基础上,经过作者近年来在国内外教学实践过程中的学识累积,反复修改、补充形成的。其核心特色归结为以下三点:

(1) 实用性

优化技术涉及复杂的数学规划中的最优化理论、计算机技术中的计算复杂性理论等多学科交叉的内容。本书力图将这些复杂的理论与工科研究生已具备的知识进行无缝衔接,并适当提高其理论基础的起点。更重要的是,在此基础上从解决现实优化问题以及满足科研工作需要出发,围绕典型优化问题及其现实应用,着重培养学员与读者求解现实优化问题的核心能力——算法开发能力。同时力争做到直观形象、通俗易懂、深入浅出。

(2) 集成性

优化技术涵盖最优化理论、优化算法、数据结构、计算机语言等多学科的内容,利用优化技术求解现实优化问题涉及数学建模、约束处理、算法设计以及程序设计等众多环节。本书对上述多学科、多环节的内容进行了有机集成,形成了一个完整的内容体系。同时,对优化技术本身又进行了纵向集成,既包含了简单易行的传统优化技术以及针对其存在的缺陷而提出的各种改进形式,又包括了复杂的、前沿的各种现代优化技术。

(3) 可操作性

为了适应优化技术实践性极强的特点,本书在系统阐述最优化理论、计算复杂性理论、算法分析与评价理论的基础上,围绕物流工程与管理、交通运输规划与管理等领域的现实优化问题,对传统优化技术及其改进技术以及现代优化技术进行了由浅入深的介绍,每一部分都配有相关问题的解法开发案例,强化对相应内容的理解,提高对算法开发的实践能力以及对现实优化问题的分析与解决能力。

本书可作为物流工程与管理(082322)、交通运输规划与管理(082303)、管理科学与工程(1201)、工商管理(1202)等相关学科与专业的研究生教材,也可作为MBA以及相关专业的高年级本科生的参考教材,还可供对优化技术感兴趣的人士研读。

本书第1~5章以及第11章由靳志宏教授编著,第6~10章由计明军副教授编著。全书由靳志宏教授统稿。

本书在编写的过程中参阅了大量中、外文资料,主要参考书目已经列在书后。在此谨向这些国内外作者表示由衷的感谢。本书的出版也受益于作者主持的国家自然科学基金项目(70571086,70572104)、教育部博士点基金项目(20070151002)以及辽宁省自然科学基金项目(20052140)的部分资助。

受编者水平与能力所限,书中若有不当之处,欢迎读者斧正。

(意见与建议反馈至作者,参见<http://logistics.dlmu.edu.cn/>)

作者

2008年4月于大连

目 录

1 优化问题与优化技术	(1)
1.1 优化问题	(1)
1.1.1 现实中的优化问题	(1)
1.1.2 优化问题分类	(5)
1.2 优化技术	(6)
1.2.1 可行解、局部最优解与全局最优解	(7)
1.2.2 数学建模	(7)
1.2.3 约束处理	(9)
1.2.4 算法设计	(9)
1.2.5 程序设计	(13)
2 优化技术基础	(14)
2.1 最优化理论	(14)
2.1.1 凸集及其性质	(14)
2.1.2 凸组合及其性质	(15)
2.1.3 凸函数及其性质	(15)
2.1.4 凸规划及其性质	(17)
2.2 计算复杂性理论	(18)
2.2.1 组合优化与组合爆炸	(18)
2.2.2 算法与计算量	(20)
2.2.3 计算量与计算复杂性	(22)
2.2.4 计算复杂性与优化问题解法	(25)
3 优化算法的设计与评价	(28)
3.1 优化算法的设计	(28)
3.1.1 优化算法及其分类	(28)
3.1.2 优化算法的描述	(29)
3.1.3 启发式算法策略	(30)

3.1.4 启发式算法求解过程	(31)
3.2 优化算法的评价	(31)
3.2.1 时间性能评价	(32)
3.2.2 近似性能评价	(32)
3.2.3 鲁棒性能评价	(34)
3.2.4 综合性能评价	(35)
4 传统的启发式算法	(36)
4.1 构筑算法及其应用	(36)
4.1.1 构筑算法	(36)
4.1.2 构筑算法应用	(37)
4.2 改善算法及其应用	(43)
4.2.1 改善算法	(43)
4.2.2 改善算法应用	(46)
5 改进的启发式算法	(51)
5.1 改进的构筑算法	(51)
5.1.1 构筑算法的局限性	(51)
5.1.2 构筑算法的改进型	(52)
5.2 改进的改善算法	(53)
5.2.1 改善算法的局限性	(53)
5.2.2 改善算法的改进型	(56)
6 模拟退火算法	(63)
6.1 模拟退火算法概述	(64)
6.2 模拟退火算法参数	(65)
6.2.1 初始温度的选取	(65)
6.2.2 温度下降的方法	(66)
6.2.3 内循环长度的选取	(66)
6.2.4 算法的停止准则	(67)
6.3 改进的模拟退火算法	(67)
6.3.1 增加记忆功能	(67)
6.3.2 模拟退火算法的新解产生	(70)

6.4	模拟退火算法在离散优化问题中的应用	(72)
6.5	模拟退火算法在连续优化问题中的应用	(76)
7	禁忌搜索	(81)
7.1	禁忌搜索算法概述	(81)
7.2	禁忌搜索算法收敛性分析	(89)
7.3	禁忌搜索的参数实现	(91)
7.4	禁忌搜索算法的实际应用	(94)
8	进化计算	(97)
8.1	进化计算的基本框架	(97)
8.2	遗传算法	(99)
8.2.1	遗传算法的基本结构	(99)
8.2.2	遗传算法的实现技术	(100)
8.2.3	遗传算法的理论分析	(103)
8.3	进化计算的其他形式	(104)
8.3.1	演化策略	(104)
8.3.2	进化规划	(105)
8.4	进化计算的应用	(107)
8.4.1	进化计算的应用领域	(107)
8.4.2	进化计算求解连续优化问题	(110)
8.4.3	进化计算求解组合优化问题	(112)
9	人工神经网络	(114)
9.1	人工神经元网络	(114)
9.1.1	神经元的功能原理	(114)
9.1.2	神经元模型	(115)
9.1.3	人工神经网络的学习方法	(116)
9.1.4	人工神经网络的特点	(117)
9.1.5	人工神经网络的主要研究方向	(118)
9.2	BP神经网络	(119)
9.2.1	多层感知网络	(119)
9.2.2	BP网络	(119)
9.2.3	BP算法的改进	(122)

9.2.4 BP 网络的结构参数	(123)
9.2.5 BP 网络的应用	(124)
9.3 Hopfield 网络	(128)
9.3.1 离散 Hopfield 网络	(128)
9.3.2 连续 Hopfield 网络	(131)
9.3.3 Hopfield 网络在求解旅行商问题中的应用	(133)
10 蚁群算法	(135)
10.1 蚁群觅食规则	(135)
10.2 蚁群算法的数学模型	(136)
10.3 蚁群算法的基本程序	(138)
10.4 蚁群算法的改进	(139)
10.5 蚁群算法的应用	(140)
10.5.1 问题描述	(140)
10.5.2 插装优化问题建模	(143)
10.5.3 蚁群算法的开发	(144)
10.5.4 实证实验	(145)
11 混合算法	(148)
11.1 混合优化的机制与策略	(148)
11.1.1 混合优化基本机制	(148)
11.1.2 混合优化基本策略	(150)
11.2 精确解算法之间的混合算法	(150)
11.3 精确解算法与启发式算法的混合算法	(152)
11.4 传统与现代启发式算法的混合算法	(156)
11.5 现代启发式算法之间的混合算法	(165)
附录 1 BP 网络应用问题示例的基本数据	(176)
附录 2 实验对象 PCB 的基本数据	(179)
附录 3 18 个基准测试问题	(181)
参考文献	(185)

1 优化问题与优化技术

1.1 优化问题

1.1.1 现实中的优化问题

现代化管理以及工程技术领域遇到的众多决策问题最终都可以归结为优化问题。物流工程与管理以及交通运输规划与管理等领域的若干现实优化问题举例如下：

【例 1.1】 设施选址问题 (Facility Location Problem)

设有 n 个客户，第 j 个客户的地理位置坐标为 (a_j, b_j) ，该客户对某种货物的需求量为 q_j ， $j=1, \dots, n$ 。现规划设立 m 个配送网点，第 i 个网点的容量为 c_i ， $i=1, \dots, m$ ，试确定网点的地理位置，合理规划物流网络的结构与布局，使物流成本最低。参见图 1-1。

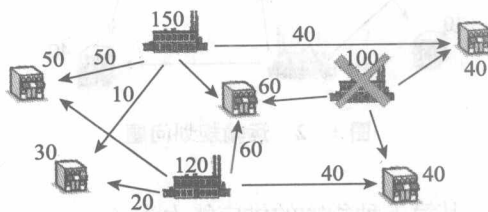


图 1-1 设施选址问题

设第 i 个网点的地理位置坐标为 (x_i, y_i) ， $i=1, \dots, m$ ，第 i 个网点为第 j 个客户配送货物量为 z_{ij} ， $i=1, \dots, m$ ； $j=1, \dots, n$ 。则该问题可用数学模型表示为：

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n z_{ij} \sqrt{(x_i - a_j)^2 + (y_i - b_j)^2} \quad (1-1)$$

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} \leq c_i, i=1, \dots, m \quad (1-2)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{i=1}^m z_{ij} = q_j, j=1, \dots, n \end{cases} \quad (1-3)$$

$$z_{ij} \geq 0, i=1, \dots, m; j=1, \dots, n \quad (1-4)$$

式 (1-1) 要求所建立网点到各客户的运输量与运输距离的积 (吨公里) 之和最小化; 式 (1-2) 表示第 i 个网点的配送量不能超过其容量; 式 (1-3) 表示第 j 个客户得到的供应量应等于其需求量; 式 (1-4) 为非负限制。

【例 1.2】 运输规划问题 (Transportation Planning Problem)

某物流网络系统由多个批发商向多个零售商提供多种货物所组成。各批发商的供货能力及其地理位置、各零售商的需求量及其地理位置已知, 试确定各批发商每种货物的供货范围和相应的供货量, 使整个物流网络运输成本最低。参见图 1-2。

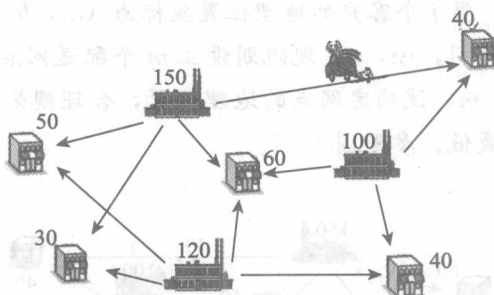


图 1-2 运输规划问题

设第 i 个供货商, 其第 k 种货物的供应能力为 A_{ik} , $i=1, \dots, m$; $k=1, \dots, l$; 第 j 个零售商, 其对第 k 种货物的需求量为 B_{jk} , $j=1, \dots, n$; $k=1, \dots, l$; 第 i 个供货商到第 j 个零售商的单位运输成本为 C_{ij} , $i=1, \dots, m$; $j=1, \dots, n$; 决策变量为第 i 个供货商向第 j 个零售商供应第 k 种货物数量为 x_{ijk} 。则该决策问题可以用数学模型表示为:

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} \sum_{k=1}^l x_{ijk} \quad (1-5)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq A_k, \quad i=1, \dots, m; \quad k=1, \dots, l \quad (1-6)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m x_{ijk} = B_{jk}, \quad j=1, \dots, n; \quad k=1, \dots, l \quad (1-7)$$

$$x_{ijk} \geq 0, \quad i=1, \dots, m; \quad j=1, \dots, n; \quad k=1, \dots, l \quad (1-8)$$

式(1-5)显示优化目标为使总运输成本达到最小;式(1-6)表示每个批发商对每种货物的供货量不能超过其供货能力;式(1-7)表示每个零售商对每种货物的需求量必须得到满足;式(1-8)为非负约束。

【例 1.3】 背包问题 (Knapsack Problem)

设有一个容积(或承重量)为 b 的背包,有 n 个体积(重量)分别为 a_i ($i=1, \dots, n$), 价值分别为 c_i ($i=1, \dots, n$) 的物品,如何装包才能使背包内的价值最大? 参见图 1-3。

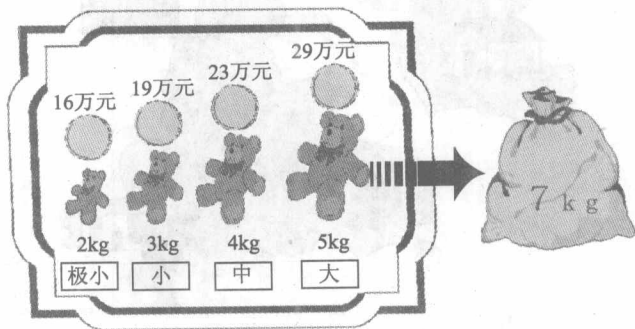


图 1-3 背包问题

该问题用数学模型可以表示为:

$$\max \sum_{i=1}^n c_i x_i \quad (1-9)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{i=1}^n a_i x_i \leq b \\ x_i \in \{0, 1\}, \quad i=1, \dots, n \end{cases} \quad (1-10)$$

$$x_i \in \{0, 1\}, \quad i=1, \dots, n \quad (1-11)$$

式(1-9)欲使背包内所装载的物品价值最大;式(1-10)为背包能力限制;式(1-11)中 x_i 为二进制决策变量, $x_i = 1$ 表示装载第 i 个物品; $x_i = 0$ 表示不装载第 i 个物品。

背包问题在集装箱装箱等物流领域具有广泛的应用。

【例 1.4】 旅行商问题 (Traveling Salesperson Problem)

一个推销员要到 n 个城市推销商品, 每两个城市 i, j 间的距离为 d_{ij} , $i=1, \dots, n$; $j=1, \dots, n$, 如何选择一巡回路径使得推销员分别在每个城市推销一周后回到出发点所行走的距离最短。参见图 1-4。



图 1-4 旅行商问题

该问题可以用多种模型加以描述, 其中一种数学模型如下:

$$\min \sum_{i \neq j} d_{ij} x_{ij} \quad (1-12)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i=1, \dots, n & (1-13) \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, j=1, \dots, n & (1-14) \\ \sum_{i,j \in s} x_{ij} \leq |s| - 1, 2 \leq s \leq n-2, s \subset \{1, \dots, n\} & (1-15) \\ x_{ij} \in \{0, 1\}, i, j=1, \dots, n, i \neq j & (1-16) \end{cases}$$

式 (1-16) 中 x_{ij} 为决策变量, $x_{ij}=1$ 表示推销员行走的路径包含从城市 i 到城市 j 的路段; $x_{ij}=0$ 表示推销员没有行走从城市 i 到城市 j 的路段; $i \neq j$ 这一约束用于减少变量的个数, 即共有 $n(n-1)$ 个决策变量。式 (1-12) 表示目标函数为路径距离之和最小化。式 (1-13) 要求推销员从城市 i 走出一, 而式 (1-14) 要求推销员走进城市 j 一次, 两者表示每个城市仅路过一次, 但仅仅满足式 (1-13) 与式 (1-14) 却不能避免子回路 (Subtour) 的产生。所谓子回路是指一条回路由 k ($1 \leq k < n$) 个城市与其之间的 k 条弧所组成的闭环路。式 (1-15) 保证推销员的巡回路不会形成子回路, 其中 $|s|$ 表示集合 s 中组成元素的个数。

旅行商问题在生产物流以及运输与配送领域具有十分广泛的应用。

1.1.2 优化问题分类

上述优化问题尽管表现形式不同, 但都由如下一些基本的要素所组成:

a) 决策变量 (Decision Variable)

决策变量通常为优化问题要求解的未知量, 一般可以用 n 维向量 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 表示, 当对其赋值后得到该优化问题的一个解。

b) 目标函数 (Objective Function)

目标函数通常为该问题所要优化 (最大化或最小化) 的目标的数学表达式, 为决策变量的函数式, 一般可以简记为 $f(x)$ 。

c) 约束条件 (Constraints)

约束条件即对决策变量的限制条件 $g(x)$ (或 $=$, 或 $<$) 0 , 是 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 允许的取值范围。其表现形式通常为关于 x 的等式或不等式, 分别称为等式约束与不等式约束。

具有上述三个基本要素, 优化问题可以表述为如下一般形式:

$$\text{Opt. (min or max) } z = f(x) \quad (1-17)$$

$$\text{s. t. } \begin{cases} g_j(x) \text{ (或 } =, \text{ 或 } <) 0, j=1, \dots, m \\ x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T, x \in \Omega \end{cases} \quad (1-18)$$

$$(1-19)$$

1.1.2.1 连续优化 (Continuous Optimization)

在上述一般形式中, 若决策变量 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 的所有分量取值均为连续数值, 即实数时, 优化问题称为连续优化问题。上述现实优化问题的例 1.1 与例 1.2 均属于连续优化问题。工程技术领域的优化问题大都为连续优