

文章编号: 1001-0920(2006)08-0957-04

物流设施规划的多目标优化模型

韩庆兰

(中南大学 商学院, 长沙 410083)

摘要: 综合考虑物流系统总成本与顾客满意度之间的平衡, 提取出对物流设施规划有重要影响的因素, 将其中顾客满意度这一定性因素用量化的服务水平代替, 由此建立一个多目标规划模型, 采用 ϵ 约束法对模型进行求解, 得到了多目标优化模型的非劣解, 并对其进行了评价, 最后通过实例说明该模型在决策规划中的应用。

关键词: 多目标规划; ϵ 约束法; 非劣解

中图分类号: F282 **文献标识码:** A

Multi-target Optimization Model of Logistics Establishment Programming

HAN Qing-lan

(School of Business, Central South University, Changsha 410083, China E-mail: hql2002123@163.com)

Abstract: The balance between total costs of logistic system and satisfaction degree of customers are considered synthetically. The factors which significantly influent the logistics establishment programming are extracted. A qualitative factor customer satisfaction degree is quantified as service level, then a multi-target programming model is established. Solving the model with ϵ restriction method, the non-inferior solution aggregation is acquired and evaluated. The practical example shows the application of the model in decision programming.

Key words: Multi-target programming; ϵ restriction method; Non-inferior solution

1 引言

物流设施规划在物流系统中占有重要地位, 它是物流产生和流通的实物管道, 也是企业策略制定的前提条件。国内外学术界对此多有研究。关于综合分析的研究, 主要围绕以下问题进行: 企业需要多少物流中心, 各物流中心的位置^[1], 应存放哪些商品及存量多少^[2], 服务哪些顾客^[3,4], 如何向供应商采购^[5], 制定什么配送策略^[6], 设施的服务水平^[7]等。对于规划方法的研究, 主要集中于数学规划模型^[8], 以及对物流系统绩效的多准则评估方法。

现有的规划方法大多从单一目标出发考虑优化问题, 对影响物流设施系统优化的各种因素缺乏全面考虑, 缺少对定性和定量因素的综合处理方法。本文试图通过对物流设施系统规划的决策因素及其关系的研究, 构造一个多目标规划模型, 采用多目标规划解决多个决策变量的均衡, 实现物流系统总成本

与顾客满意度之间的合理均衡。

2 物流设施规划的多目标优化模型

2.1 物流设施规划的多目标优化模型的假设

1) 模型包括 i 个工厂, 生产 l 种产品, 有 k 个顾客需求点和 j 个潜在的物流中心区位; 商品的配送方式是由工厂运输至物流中心, 再由物流中心配送至需求点。

2) 工厂及顾客需求点已知, 物流中心潜在位置已知, 物流中心有容量限制, 需求点的顾客需求为静态需求, 顾客服务水平以配送距离和物流中心库存水平来衡量, 顾客的需求只由一个物流中心满足。

2.2 模型的建立

多目标规划问题的数学模型为

$$\begin{aligned} \min & Z(x), \max R(x), \\ X = & \{x: x \in R^n, g_i(x) = 0, \\ & h_i(x) = 0, x_j \geq 0, \forall i, j\}. \end{aligned}$$

收稿日期: 2005-05-18; 修回日期: 2005-08-16

作者简介: 韩庆兰(1954—), 女, 石家庄人, 教授, 从事物流及供应链管理、信息系统及决策技术的研究。

其中: x 为 n 维矢量变量, $Z(x)$ 为物流系统的总成本目标函数, $R(x)$ 为顾客满意度目标函数 不等式约束方程为 $g_i(x) \leq 0, i = 1, 2, \dots, m_1$; 等式约束方程为 $h_i(x) = 0, i = 1, 2, \dots, m_2$ 在 n 维空间, 由 $m_1 + m_2$ 个约束条件和非负约束所形成的可行解域为 X .

物流设施的双目标函数可表示为

$$\min Z(x) = \sum_j F_j \delta_j + \sum_{l, k, j, i} a_{ijkl} x_{ijkl} + \sum_j b_j \left(\sum_{l, k} d_{kl} \right) \delta_j + \sum_{j, k, l} d_{kl} \Omega_l h_l \delta_j, \quad (1)$$

$$\max R(x) = a \left(\sum_{l, k, j, i} x_{ijkl} w_{jkl} \right) / \sum_{l, k} d_{kl} + b \left(\sum_{j, k, l} d_{kl} \Omega_l \delta_j \right) / \sum_{l, k} d_{kl}. \quad (2)$$

其中: x_{ijkl} 表示商品 l 从工厂 i 经物流中心 j 到达客户需求点 k 的数量, a_{ijkl} 表示平均搬运和运输成本; δ_j 表示是否开设物流中心 j 的 0-1 变量, δ_k 表示物流中心 j 是否为客户需求点 k 提供服务的 0-1 变量, F_j 表示开设物流中心 j 每年运营成本的固定部分, b_j 表示物流中心 j 处理货流的单位变动成本, d_{kl} 表示需求点 k 对商品 l 的需求量, Ω_l 表示物流中心的商品 l 的存货持有率(即物流中心的库存量与其所满足的总需求量之比), h_l 表示物流中心的商品 l 的单位库存持有成本, w_{jkl} 表示与配送距离相关的服务水平率, a 表示配送距离对客户服务水平的影响权重, b 表示库存水平对客户服务水平的影响, 有 $a + b = 1$ 以 S_{il} 表示工厂 i 生产产品 l 的产能, $\bar{\omega}_l$ 表示物流中心 j 对商品 l 的配送能力上限, $\underline{\omega}_l$ 表示物流中心 j 对商品 l 的配送能力下限, 则有如下约束条件:

$$\sum_k x_{ijkl} \leq S_{il}, \forall i, l; \quad (3)$$

$$\sum_i x_{ijkl} = d_{kl} \delta_j, \forall j, k, l; \quad (4)$$

$$\delta_j = 1, \forall j; \quad (5)$$

$$\underline{\omega}_l \leq \sum_k \left(\sum_l d_{kl} \right) \delta_j \leq \bar{\omega}_l, \forall j; \quad (6)$$

$$x_{ijkl} \geq 0; \quad (7)$$

$$\delta_j \in \{0, 1\}; \quad (8)$$

$$\delta_k \in \{0, 1\}. \quad (9)$$

式(1)以总成本最小化设定各成本因子, 总成本包括物流中心设置成本, 工厂到物流中心和物流中心到顾客的运输成本, 物流中心处理商品货流的成本, 物流中心的库存持有成本 式(2)以顾客满意度最大化为目的, 用量化的顾客服务水平代替顾客满意度, 它的衡量包括许多因素 本模型考虑到配送

距离和各物流中心的库存水平直接影响到服务时间、订单履行速度、订单满足率这 3 个最重要的服务质量, 所以令配送距离和库存水平两个因素为决定客户服务水平的影响因素

式(3)为工厂供应量的限制, 式(4)表示供需相等, 式(5)表示每个需求点的需求只能由一个物流中心满足, 式(6)为物流中心处理能力的限制, 式(7)为运输量非负限制, 当式(8)和(9)取 1 时, $x_{ijkl} > 0$

2.3 模型求解

多目标规划可同时处理两个或两个以上具有冲突关系的目标, 因此多目标规划所求得解是一个帕累托最优向量 多目标规划方法是一组可量化的目标, 在一组定义清楚的限制式下, 以数学规划的方式求解一组或多组非劣解 非劣解集的常用生成方法有: 加权方法, ϵ 约束法, 菲利浦线性多目标方法, 席勒尼线性多目标方法等 本文采取 ϵ 约束法^[9] 来生成非劣解集 该方法的一大特点是: 允许分析者以序贯方式指出目标范围

求解过程通常是搜索出一组非劣解或称有效解, 将多目标优化转化为单目标优化求解 假设在由 $Z(x)$ 和 $R(x)$ 组成的目标函数空间, 如果对其中一个目标函数附加一个约束, 如 $Z(x) \leq \epsilon$ 或 $Z(x) \geq \epsilon$ 的设定值, 则多目标优化可化为仅对 $R(x)$ 的单目标优化问题 应用一般的(非)线性规划法, 即可分别得到 $R(x)$ 的极大值和极小值 在解的上下边界范围内改变 ϵ 的大小, 可得到整个目标空间的边界 同理, 也可采用约束 $R(x)$ 的方法求得 $Z(x)$ 目标空间的边界 非劣解集总是处于该目标可行域的某段边界上 根据决策者的愿望, 进一步可在非劣解集中找到最优的满意解 ϵ 的取值范围由如下单目标优化问题的最优解所约束, 即

$$\min Z(x), \max R(x),$$

分别满足

$$X = \{x: x \in R^n, g_i(x) \leq 0, h_i(x) = 0, x_j \geq 0, \forall i, j\}.$$

作者采用 GAM S 软件计算出符合限制式下单一目标的最优解

3 实例计算

3.1 模型描述

模型由 3 个工厂 ($i = 3$), 4 个潜在的物流中心 ($j = 4$), 10 个需求点 ($k = 10$) 和 1 种产品 ($l = 1$) 所组成 物流中心的存货持有成本 h_l 为 200 元, 物流中心的设定存货持有率为 0.1 a 和 b 分别为配送距离和库存水平两个因素对客户服务水平的影响权重, 可根据实际情况设定 这里令配送距离影响权重 $a = 0.8$,

则库存水平影响权重 $b = 0.2$, a_{ijkl} 由分段运价表求出。模型参数分别如表 1~ 表 7 所示。

表 1 工厂的供应量

供应量	i_1	i_2	i_3	合计
年供应量	86 760	76 020	73 368	236 148
月均供应量	7 230	6 335	6 114	19 679

表 2 运输(配送)距离和服务水准 w_{jk} 对照

运距/km	0~ 10	10~ 20	20~ 30	... 90~ 100	> 100
$w_{jk}/\%$	100	95	90	...	50 30

表 3 各 J 到 K 的运距 (km)

K	J				K	J			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	56	61	62	*	6	22	37	47	100
2	25	31	40	93	7	8	27	37	90
3	23	28	38	91	8	5	25	14	88
4	25	30	40	93	9	9	29	18	92
5	31	35	46	99	10	18	37	25	100

表 4 i 到 j 的运距 (km)

j	i_1			j	i_2		
	i_1	i_2	i_3		i_1	i_2	i_3
1	260	240	368	3	318	243	338
2	308	233	328	4	361	178	269

表 5 运输费率 (元/单位产品)

里程/km	运 费
12	$5.91 * 12 * 1.7 + 64 * 2 = 248$
12~ 50	$248 + 5.91 * (D - 12)$
50~ 80	$472 + 5.91 * (D - 50) * 0.9$
80~ 110	$631 + 5.91 * (D - 80) * 0.8$
110~ 200	$772 + 5.91 * (D - 110) * 0.7$
200	$1 144 + 5.91 * (D - 200) * 0.6$

表 6 物流中心的 $F_j, b_j, \omega_j, \omega_{j1}$

j	F_j	b_j	ω_j	ω_{j1}
1	374 000	350	1 000	10 000
2	374 000	400	1 000	10 000
3	374 000	280	1 000	10 000
4	137 200	300	1 000	10 000

表 7 各需求点的需求量 (月)

K	需求量	K	需求量	K	需求量
1	1 500	5	3 463	9	2 015
2	1 120	6	1 587	10	1 053
3	1 513	7	2 224	合计	19 679
4	2 196	8	3 008		

3.2 以 ϵ 约束法求解模型

首先在 $x \in X$ 中, 对 $Z(x)$ 和 $R(x)$ 两个目标分别直接寻优, 得到双目标优化问题的试算表, 如表 8 所示。即当总成本目标 $Z(x)$ 最小时, 可计算顾客满意度 $R(x)$ 的取值; 当顾客满意度 $R(x)$ 最大时, 可计算总成本 $Z(x)$ 的取值。

表 8 双目标优化问题试算表

x	$Z(x^k)$	$R(x^k)/\%$
x^1	41 274 780	68
x^2	44 985 780	73

此处选取 $R(x)$ 为目标函数, 增加约束条件 $Z(x) \leq \epsilon$, ϵ 的取值范围为 44 985 780~ 41 274 780, 则将双目标优化问题转化为单目标问题求解。根据多目标规划的 ϵ 约束法, 选择一个适当的 r 值, 以确定系统生成非劣解的个数^[9]。这里取 $r = 4$, 可得到 4 组非劣解。

以 $(44 985 780 - 41 274 780) / 3 = 1 237 000$ 为步长, 逐步增加 ϵ , 对不同的 ϵ 求“ $\max R(x), s.t. x \in X, Z(x) \leq \epsilon$ ”单一目标函数的最优解。计算结果如表 9 所示。

表 9 各组非劣解的 Z, R 和 J 的开放数

非劣解	总成本	服务水平/%	J 的开放数
1	41 274 780	68	4
2	42 511 780	71.5	4
3	43 748 780	72	4
4	44 985 780	73	4

计算结果显示, 要满足所有 10 个需求点的需求, 则所有方案都必须开放 4 个物流中心, 而这 4 个

表 10 方案 1

运输路线			x_{ijkl}
i	j	k	
1	1	5	3 419
1	1	6	1 587
1	1	7	2 224
2	1	4	2 196
2	1	5	44
2	2	2	1 120
2	3	3	1 513
2	3	8	409
2	3	10	1 053
3	3	8	2 599
3	3	9	2 015
3	4	1	1 500

表 11 方案 2

运输路线			x_{ijkl}
i	j	k	
1	1	4	2 196
1	1	5	1 174
1	1	6	1 587
1	1	7	2 224
1	4	2	48
2	1	5	2 288
2	3	8	1 922
2	3	10	1 053
2	4	2	1 072
3	2	3	1 513
3	3	1	1 500
3	3	8	1 086
3	3	9	2 015

表12 方案3

运输路线			x_{ijkl}
i	j	k	
1	1	4	181
1	1	6	1 587
1	1	7	2 224
1	1	9	2 015
1	1	10	1 053
1	4	2	170
2	1	4	2 015
2	2	3	1 513
2	3	8	2 807
3	3	1	1 500
3	3	5	3 463
3	3	8	201
3	4	2	950

表13 方案4

运输路线			x_{ijkl}
i	j	k	
1	1	6	1 587
1	1	9	496
1	1	10	171
1	2	3	1 513
1	3	5	3 463
2	1	9	1 519
2	2	4	2 196
2	3	1	1 500
2	4	2	1 120
3	1	7	2 224
3	1	8	3 008
3	1	10	882

方案的总成本和服务水平是不同的。主要原因是各方案采用了不同的运输方案所致,其结果反映了总成本与服务水平之间的成本悖反关系。决策者可根据企业的战略(成本领先或服务水平领先),在这4个非劣解中选择合适的一个。各方案的运输路线和运输量如表10~表13所示。采用文献[10]的方法对4个方案进行评估,其优先顺序依次为方案1,方案2,方案4,方案3。

4 结 论

本文首先考虑影响决策的定量因素,建立一个以提高客户服务水平和降低物流系统运营总成本为目标的多目标规划的数学模型。这两个目标体现了物流系统规划的核心问题,求解此模型可得到数组非劣解。然后利用文献[10]的方法,考虑影响决策的定性因素,如自然环境、交通运输、经营环境、公共设施等,构建一个选择决策方案的层次分析模型。最后对非劣解进行评估,从而得到最优规划方案。该决策方法结合了数学规划与多准则评估方法,它对物流系统规划问题的处理能力强于传统的数学规划法或多准则评估的方法,能够综合考虑定性和定量因素,得到符合实际情况的最优规划方案。

参考文献(References)

[1] Klingman Darwin, Mote John, Phillips Nancy V. A Logistics Planning System at WR Grace[J]. *Operations*

Research, 1988, 36(6): 811-822

- [2] 许胜余. 存货管理及其预测模型[J]. *物流技术与应用*, 2003, 15(8): 44-46
(Xu S Y. Inventory Management and Its Prediction Model [J]. *Logistics Technology and Application*, 2003, 15(8): 44-46)
- [3] Morash Edward A, Ozment John. Toward Management of Transportation Service Quality [J]. *Logistics and Transportation Review*, 1994, 30(2): 115-140
- [4] Daniel J Flint, Everth Larsson, Britta Gammelgaard, et al. Logistics Innovation: A Customer Value-oriented Social Process [J]. *J of Business Logistics*, 2005, 26(1): 113-147.
- [5] 赵礼强, 徐娴英. 第三方物流供应商选择的模糊决策方法[J]. *物流技术*, 2003, 15(9): 29-31.
(Zhao L Q, Xu X Y. TPL Provider Selection Based on Fuzzy AHP Method [J]. *Logistics Technology*, 2003, 15(9): 29-31.)
- [6] 孙会君, 高自有. 一类有竞争的物流配送中心的选址模型[J]. *交通运输工程学报*, 2002, 13(2): 68-70
(Sun H J, Gao Z Y. Competitive Location Model of Logistics Distribution Center [J]. *J of Traffic and Transportation Engineering*, 2002, 13(2): 68-70)
- [7] Nozick L K, Turnquist M A. Inventory, Transportation, Service Quality and the Location of Distribution Centers [J]. *European J of Operational Research*, 2001, 129(2): 362-371.
- [8] Vaidyanathan Jayaraman. A Multiobjective Logistics Model for a Capacitated Service Facility Problem [J]. *Int J of Physical Distribution and Logistics Management*, 1999, 29(1): 65-81.
- [9] 乔伊科奇A, 汉森DR, 达克斯丁L. *多目标决策分析及其在工程和经济中的应用*[M]. 王寅初译. 北京: 航空工业出版社, 1987: 23-28
(Goicoechea A, Hansen D R, Duckston L. *Multi-target Decision Making Analysis and Its Application in Engineering and Economy* [M]. Translated by Wang Y C. Beijing: Publishing House of Aviation Industry, 1987: 23-28)
- [10] 韩庆兰, 梅运先. 基于BP人工神经网络的物流配送中心选址决策[J]. *中国软科学*, 2004, 162(6): 140-143
(Han Q L, Mei Y X. Distribution Center: BP Artificial Neural Network Based Site Selection [J]. *China Soft Science*, 2004, 162(6): 140-143)