

指定备选点的配送中心选址-库存模型

王 非^{1,2}, 孙浩杰¹, 罗卫华³, 王丽萍¹

(1. 长安大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710064; 2. 西安外国语大学 人文地理研究所, 陕西 西安 710061; 3. 中国航天科技集团 第四研究院 401 所, 陕西 西安 710025)

摘 要:为解决物流网络节点备选点受法律、法规及地质等条件限制问题,在可变建设成本 LMRP 模型研究基础上,从优化角度将模型扩展为指定备选点的 LMRPVCC 选址-库存问题。结合粒子群算法的特点,设计了指定备选点的可变建设成本配送中心选址-库存模型的初始粒子,并通过连锁零售企业 HX 公司配送中心进行实证研究。结果表明:配送中心建设成本、下游运输成本、配送中心运营成本和库存成本各占总成本的 26%、42%、31%、1%。与 Daskin 文中得出的成本比例图相比,建设成本增长了 4%,下游运输成本提高 1%,配送中心运营成本降低了 5%。

关键词:物流管理;选址;配送中心;粒子群算法

中图分类号:U651.2;F253.4 **文献标志码:**A

Location-inventory model of distribution center with appointed alternative location

WANG Fei^{1,2}, SUN Hao-jie¹, LUO Wei-hua³, WANG Li-ping¹

(1. School of Economy and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;
2. Institute of Human Geography, Xi'an International Studies University, Xi'an 710061, Shaanxi, China; 3. The 401 Institute of the Forth Academy, CASC, Xi'an 710025, Shaanxi, China)

Abstract: In order to solve the problem of logistics network node constrained by laws, regulations and geological conditions, a location model of risk pooling with variable construction cost (LMRPVCC) with appointed alternative location was built based on location model of risk pooling (LMRP) model. This paper used the HX company as business case and the particle swarm optimization to design the initial particle of location-inventing model. The results show that the costs of distribution center construction, downstream transportation, distribution center operating and safety stock respectively occupy 26%, 42%, 31%, 1% of the total costs. Compared with the cost ratio figure of Daskin's paper, the construction cost increases 4%, the downstream transportation cost increases 1%, the operating cost decreases 5%. 2 tabs, 2 figs, 11 refs.

Key words: logistics management; location; distribution center; particle swarm optimization algorithm

0 引言

中国物流业虽然起步较晚,但自改革开放以来,中国在宏观经济、商业流通、交通基础设施等领域取得了巨大成就,为现代物流业的发展提供了条件。尤其是商业流通领域的批发、零售业的快速增长、连锁企业门店的跨区域广泛空间分布,更是为物流业的高速发展提供了广阔的市场空间。企业是物流市场的主题,如何提高中国物流企业管理与运营绩效、物流企业的决策能力是当前面临的重大课题。配送中心是重要的物流企业,从事货物配备(集货、分拣、包装、加工、配货)和组织对客户的送货,是高水平实现销售和供应的现代物流设施。配送中心选址问题是设施选址问题的一种。很多学者从物流成本中的运输成本、配送中心的运营成本及建设成本(或主要从纯库存角度)考虑物流网络的设计问题,但这些模型大多数没有指定配送中心的选择区位^[1-5]。

Nozick 等最先在配送中心选址模型中考虑了库存成本的影响作用,将安全库存成本包含在固定装卸成本中,建立起单级库存-选址模型,后来将单级模型扩展为两级模型^[6-7]。Shen 等利用库存风险共担策略构建了非线性 0-1 整数规划 LMRP(location model of risk pooling)模型,并用拉格朗日松弛法求解该模型,并获得良好计算效果^[8-9]。在 LMRP 模型基础上,作者从优化角度将配送中心建设成本设为配送中心规模的线性函数,构建了基于可变建设成本的 LMRP(Location model of risk pooling based on variable construction cost)模型,简称 LMRPVCC 模型。该模型与 LMRP 的区别在于,将配送中心建设成本视为配送中心规模的线性函数 $f(x) = f_i + mx$,其中, x 为配送中心的期望平均库存量。本文以此模型为基础,建立指定各选点的 LMRPVCC 模型,并求解。

1 指定备选点的配送中心选址-库存模型的构建

对一些特定物流网络而言,受历史或现状条件、地质和经济等客观条件限制,配送中心只能在指定的备选点中选择,不能在网络中的任意节点修建配送中心。指定备选点的基于可变建设成本的配送中心选址-库存模型,假设配送中心只能在指定备选点中修建。在特定网络中,已知备选点区位、各零售商

需求与网络距离矩阵,给定建设成本系数、运输成本系数和库存成本参数,求解包括配送中心建设成本、运作成本、运输成本和安全库存成本在内的总成本最小值、建设配送中心的最佳区位以及配送中心给零售商配送的最优路径。

沿用 LMRP 模型假设,零售商需求为为正态分布,令 $\sigma_j^2/\mu_j = r \quad \forall j \in J$,沿用文献[8]假设。该假设可避免配送中心不为当地零售商供货情况的出现。指定备选点的 LMRPVCC 模型为

$$\min \left[\sum_i \left(f_i + m \left(Z_a \sqrt{\sum_j L r \mu_j Y_{ij}} + \sqrt{\frac{2(F_i + \beta g_i) \sum_j B \mu_j Y_{ij}}{\theta h_d}} \right) \right) X_i + \beta \sum_i \sum_j B u_j d_{ij} Y_{ij} + \sum_i \sqrt{2 \theta h_d (F_i + \beta g_i) \sum_j B \mu_j Y_{ij}} + \beta \sum_i \sum_j B a_i \mu_j Y_{ij} + \theta h_d Z_a \sum_i \sqrt{\sum_j L r \mu_j Y_{ij}} \right] \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^n Y_{ij} = 1 \quad (2)$$

$$Y_{ij} - X_i \leq 0 \quad (3)$$

$$X_i \in \{0, 1\} \quad (4)$$

$$Y_{ij} \in \{0, 1\} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^I \leq P < \sum_{i=1}^J j \quad (6)$$

式中: I 为配送中心 i 集合; J 为零售商 j 集合; d_{ij} 为配送中心 i 到零售商 j 的距离; f_i 为每年配送中心 i 的固定建设费用; β 为运输费用系数; μ_j, σ_j 为零售商 j 每天需求的均值方差; g_i 为从供货商到配送中心 i 每次运输的固定成本; a_i 为从供货商到配送中心可变运输成本系数; B 为每年配送中心运营的天数; L 为订货提前期; θ 为库存成本系数; Z_a 为销售商订货满意度; σ^2 为零售商需求方差; h_d 为配送中心单位库存成本; F_i 为配送中心每次订货的固定成本; m 为配送中心建设成本系数; X_i 为决策变量,如为 1,在 i 点修建配送中心,否则为 0; Y_{ij} 为决策变量,如为 1,配送中心 i 为销售点 j 送货,否则为 0; P 为指定备选点数量。

式(1)目标函数中第 1 项为配送中心建设成本,第 2 项为配送中心到零售商的下游运输成本,第 3 项与第 4 项之和为配送中心运营成本,第 5 项为安

全库存成本。

约束条件式(2)表示每个零售商需求都被满足,且只能由1个配送中心满足;约束条件式(3)表示零售商只能由配送中心供货;约束条件式(4)、式(5)表示 X_i, Y_{ij} 为 0-1 变量;约束条件(6)表示备选点的数量少于总的节点数。

简化目标函数,可得

$$\begin{aligned} \min & \sum_i f_i X_i + \sum_i \left(m \left(Z_a \sqrt{Lr} + \sqrt{\frac{2(F_i + \beta g_i)B}{\theta h_d}} \right) \sqrt{\sum_j \mu_j Y_{ij}} \right) X_i + \\ & \sum_j d_{ij}' Y_{ij} + K_i' \sqrt{\sum_j \mu_j Y_{ij}} = \\ \min & \sum_i \left(f_i X_i + R \sqrt{\sum_j \mu_j Y_{ij}} X_i + \sum_j d_{ij}' Y_{ij} + \right. \\ & \left. K_i' \sqrt{\sum_j \mu_j Y_{ij}} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

其中:

$$R = m \left(Z_a \sqrt{Lr} + \sqrt{\frac{2(F_i + \beta g_i)B}{\theta h_d}} \right) \quad (8)$$

$$d_{ij}' = \beta B \mu_j (d_{ij} + a_i) \quad (9)$$

$$K_i' = \sqrt{2\theta h_d B (F_i + \beta g_i)} + \theta h_d Z_a \sqrt{Lr} \quad (10)$$

2 解的性质分析

LMRPVCC 选址-库存问题模型的最优解,具有以下性质。

性质 1 若 Y_{kc} 为 LMRPVCC 选址-库存问题模型的最优解, $\forall k \in I, c \in J; T_k$ 为配送中心 k 满足的所有需求量; T_i 为配送中心 i 满足的所有需求量。则有

$$\mu_c \tilde{d}_{ic} + R_i' [(T_i + \mu_c)^{0.5} - T_i^{0.5}] \geq \mu_c \tilde{d}_{kc} + R_k' [T_k^{0.5} - (T_k - \mu_c)^{0.5}] \quad \forall i \neq k, i \neq I, c \neq J$$

其中: $\tilde{d}_{ic} = \beta B (d_{ic} + a_i) = \frac{d_{ic}}{\mu_c}, R_i' = R + K_i'$ 。

根据式(7),由最优解的含义,则有

$$\begin{aligned} \mu_c \tilde{d}_{ic} + R [(T_i + \mu_c)^{0.5} - T_i^{0.5}] + K_i' [(T_i + \mu_c)^{0.5} - T_i^{0.5}] & \geq \mu_c \tilde{d}_{kc} + R [T_k^{0.5} - (T_k - \mu_c)^{0.5}] + \\ K_i' [T_k^{0.5} - (T_k - \mu_c)^{0.5}] & \quad \forall i \neq k \end{aligned}$$

则有

$$\mu_c \tilde{d}_{ic} + R_i' [(T_i + \mu_c)^{0.5} - T_i^{0.5}] \geq \mu_c \tilde{d}_{kc} + R_k' [T_k^{0.5} - (T_k - \mu_c)^{0.5}] \quad \forall i \neq k$$

如配送中心 k 为零售商 c 供货是模型最优解,则对其他任何配送中心 i 而言,配送中心 i 为零售商 c

供货增加的成本,不小于由配送中心 k 为零售商 c 供货增加的成本。

定理 1 若 $Y_{kc} = 1, \forall i, k \in I, i \neq k, \forall e, c \in J, e \neq c$, 且零售商 e 位于边 ck 上, 则 $Y_{ke} = 1$ 。

证明:因 $d_{kc} = d_{ec} + d_{ke}$ (零售商 e 在边 ck 上), 两边之和大于第三边, 可得

$$d_{ec} + d_{ie} \geq d_{ic}$$

$$d_{kc} - d_{ke} + d_{ie} \geq d_{ic}$$

$$d_{kc} - d_{ic} \geq d_{ke} - d_{ie} \quad \forall i \in I, i \neq k, j \in J$$

根据性质 1, $d_{kc} - d_{ic} \geq d_{ke} - d_{ie} \quad \forall i \in I, i \neq k, j \in J$, 且 $Y_{kc} = 1$, 则 $Y_{ke} = 1$ 。

证毕。

定理 2 记 LMRPVCC 选址-库存模型目标函数最优值为 A_{opt_1} , 指定备选点的 LMRPVCC 选址-库存模型目标函数最优值为 A_{opt_2} , 则 $A_{\text{opt}_1} < A_{\text{opt}_2}$ 。

证明:令 LMRPVCC 选址-库存模型目标函数最优值为 A_{opt_1} , 最优解为

$$\mathbf{X}^* = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

$$\mathbf{Y}^* = \begin{bmatrix} y_{11} & \cdots & y_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ y_{n1} & \cdots & y_{nm} \end{bmatrix}$$

此时,模型可行域为 F_1 。

令指定备选点的 LMRPVCC 选址-库存模型目标函数最优值为 A_{opt_2} , 最优解为

$$\mathbf{X}'^* = (x_1', x_2', x_3', \dots, x_n')$$

$$\mathbf{Y}'^* = \begin{bmatrix} y_{11}' & \cdots & y_{1n}' \\ \vdots & & \vdots \\ y_{m1}' & \cdots & y_{nm}' \end{bmatrix}$$

此时,该模型可行域为 F_2 。

LMRPVCC 选址-库存模型解集合 Y_{ij} 可表示为 $n \times n$ 矩阵形式,指定备选点的模型解集合 Y_{ij} 可表示为 $m \times n$ 矩阵形式,因 $m < n$, 故 $F_2 \subset F_1$ 。

所以, $A_{\text{opt}_1} < A_{\text{opt}_2}$ 。

证毕。

3 实证案例

粒子群优化算法 (Particle Swarm Optimization, PSO) 是一种全局优化进化算法,其想法来自于对鸟类捕食行为的研究^[10]。根据粒子群算法解的特性,可将每个解看作一个粒子,粒子的维度可视零售商的个数 J , 所有决策变量 Y_{ij} 可表示为 $I \times J$ 矩阵的形式^[11]。

在本文理论研究的基础上,对一个典型的连锁零售企业 HX 公司进行实证研究。在对该企业基本情况、配送流程、市场需求和门店的空间分布分析的基础上,采用指定备选点的 LMRPVCC 选址-库存模型进行求解。

3.1 HX 公司简介

HX 物流配送中心是一家专业从事各类食品、饮料、日用消费品和家用电器等百货用品配送的第三方物流企业。经过十多年的发展,该中心已发展成为拥有 20 多辆运输车辆、130 多名员工、承担着 80 多家超市、便利岛 10 大类共一万多种商品的仓储、配送服务。HX 超市、便利岛的分布图抽象后为点状,如图 1 所示。



图 1 超市、便利岛分布

为便于研究,现将复杂的物流选址、配送实际流程进行某种程度简化,根据实地调研情况与 HX 公司管理者讨论,得到以下相关参数,见表 1。

表 1 案例参数

| $f_i/\text{元}$ | β | B/d | $g_i/\text{元}$ | a_i | m | θ | $h_d/\text{元}$ | Z_a | $L/\text{元}$ | $F_i/\text{元}$ |
|----------------|---------|-------|----------------|-------|-----|----------|----------------|-------|--------------|----------------|
| 200 万 | 1 | 250 | 600 | 50 | 1 | 1 | 36 | 1.96 | 3 | 100 |

配送费用只与配送距离有关。从 HX 物流配送中心方面得到的数据显示,目前,货运面包车所需的 93# 汽油的价格为 5.66 元/L(2007 年数据),每百公里耗油量约为 15 L,货车每月的固定费用(包括折旧费用与维修保养等费用)为 1 000 元/辆。经过估算,货车行驶每公里的费用约为 1 元。

3.2 案例计算结果与讨论

HX 公司在北郊修建配送中心之前,曾在南郊产业园内看中某地,总面积 28 666.8 m²(43 亩),估计总

建设费用约为 5 000 万。经过权衡,HX 公司高层在 2 个备选方案中最终选定在北郊建立配送中心。根据以上案例,将调研数据带入指定备选点的 LMRPVCC 选址-库存优化模型,利用粒子群算法对模型求解。作者用 C++ 对设计的粒子群算法编程,通过 C++ builder 进行运算。采用设备为 Dell 台式计算机,处理器为 Intel Pentium 4CPU 2.40 GHz。计算结果见表 2;在北郊修建配送中心为最优解。

表 2 案例部分计算结果

| θ | β | 总成本/元 | 修建配送中心个数 | 配送中心建设成本/元 | 下游运输成本/元 | 配送中心运营成本/元 | 安全库存成本/元 |
|----------|---------|------------|----------|------------|-----------|------------|----------|
| 1 | 1 | 16 975 952 | 1 | 4 413 748 | 7 129 900 | 5 262 545 | 169 759 |

配送中心每年各项成本所占比重如图 2 所示。

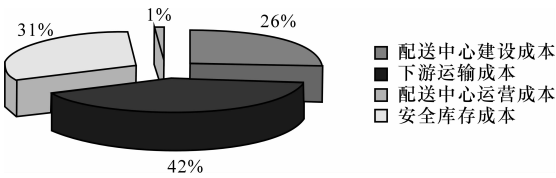


图 2 各项成本所占比重

图 2 显示,配送中心建设成本、下游运输成本、配送中心运营成本和库存成本各占总成本的 26%、42%、31%、1%。文献[8]中设施建设成本、下游运输成本、配送中心运营成本、安全库存成本各占总成本为 22%、41%、36%、1%。与文献[8]相比,本文建设成本增长了 4%,下游运输成本提高 1%,配送中心运营成本降低了 5%。本案例指定了 2 个备选点,且配送中心建设成本为可变成本,成本随配送中心规模而改变,因而更贴近实际,更为精确。

4 研究趋势

选址-库存问题有待进一步研究的方向有:

(1)有配送能力约束问题。本文所研究问题均假设无配送能力约束,而实际当中,大多数物流网络设施有配送能力限制,因此,一个零售商将可能由多个配送中心为其供货。针对此问题特点,将构建混合整数规划模型研究。

(2)不确定提前期条件下的研究。现实中的配送是在不确定环境下实施,本文只假设需求不确定,在实际中,运输的不确定性、生产的不确定性直接导致提前期的不确定。在提前期不确定的条件下,对 LMRPVCC 问题的研究也是一个值得探讨的理论问题。

5 结 语

(1)受历史或现状条件、地质和经济等客观条件的限制,配送中心只能在指定的备选点中选择,不能在网络中的任意节点修建配送中心;在固定建设成本 LMRP 模型基础上,研究指定备选点的 LMR-PVCC 选址-库存问题,构建非线性 0-1 整数规划模型;同时,结合粒子群算法的特点,设计 $I \times J$ 为指定备选点的可变建设成本配送中心选址-库存模型的初始粒子;在理论研究的基础上,对一个典型的连锁零售企业 HX 公司进行实证研究,结合企业基本情况、配送流程、市场需求、门店的空间分布以及相关参数进行实地调研,计算指定备选点的配送中心的 LMRPVCC 选址-库存问题。

(2)理论上,在计算物流企业总成本时,将配送中心建设成本视为配送中心规模的线性函数是可行的,根据模型能比较精确地计算出配送中心的建设成本。

(3)在大多数情况下,物流企业不能在网络的任意节点修建配送中心,而要根据当地经济发展水平、地质条件、法律和法规等因素限定指定备选点,进一步选择配送中心的最优区位;指定备选点的 LMR-PVCC 选址-库存问题优化模型,为解决此类问题提供了有效的数量方法。

参考文献:

References:

- [1] Archibald T W, Black D, Glazebrook K D. An index heuristic for transshipment decisions in multi-location inventory systems based on a pairwise decomposition [J]. European Journal of Operational Research, 2009, 192(1): 69-78.
- [2] Wang Z, Yao D Q, Huang P. A new location-inventory policy with reverse logistics applied to B2C e-markets of China[J]. International Journal of Production Economics, 2007, 107(2): 350-363.
- [3] Hu J, Watson E, Schneider H. Approximate solutions

for multi-location inventory systems with transshipments[J]. International Journal of Production Economics, 2005, 97(1): 31-43.

- [4] Shen Z J, Qi L. Incorporating inventory and routing costs in strategic location models [J]. European Journal of Operational Research, 2007, 179(2): 372-389.
- [5] Gabor A F, Ommeren J C W. An approximation algorithm for a facility location problem with stochastic demands and inventories [J]. Operations Research Letters, 2006, 34(3): 257-263.
- [6] Nozick L, Turnquist M. Inventory, transportation, service quality and the location of distribution centers [J]. European Journal of Operational Research, 1998, 129(5): 362-371.
- [7] Nozick T, Turnquist M. A two-echelon inventory allocation and distribution center location analysis [J]. Transportation Research, 2001, 37(6): 421-441.
- [8] Shen Z J, Coullard M C, Daskin M S. A joint location-inventory model [J]. Transportation Science, 2003, 37(3): 40-55.
- [9] 王 非, 贾 涛, 胡信步. 基于可变建设成本的风险共担选址-库存模型及粒子群算法应用 [J]. 运筹与管理, 2010, 19(4): 31-37.
- WANG Fei, JIA Tao, HU Xin-bu. Location model of risk pooling based on variable construction cost and particle swarm optimization algorithms [J]. Operations Research and Management Science, 2010, 19(4): 31-37.
- [10] Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization [C]//IEEE. International Conference on Neural Networks. Sydney: IEEE, 1995, 4: 1942-1948.
- [11] 王 非, 王丽萍, 孙浩杰. 指定与不指定备选点的配送中心选址-库存模型研究 [J]. 统计与决策, 2010, 318(18): 177-179.
- WANG Fei, WANG Li-ping, SUN Hao-jie. Location-inventory model of distribution center with non-appointed and appointed alternative location [J]. Statistics and Decision, 2010, 318(18): 177-179.