

文章编号:1007-6735(2013)04-0336-04

考虑经济性和时效性的配送中心选址模型研究

董开帆, 干宏程, 张惠珍

(上海理工大学 超网络研究中心, 上海 200093)

摘要: 为提高物流系统的服务水平,对具有经济性和时效性的配送中心选址问题进行了研究.以经济费用最小为目标,将客户对送货时间的要求转化为时效性约束条件,构造配送中心选址模型.讨论了求解该选址问题的优化算法——序列二次规划算法(SQP).通过实际算例对选址模型和求解算法的可行性进行了检验.算例结果表明:模型和算法能很好地解决有时效性约束的配送中心选址问题,对提高物流系统的运作效率有积极的意义.

关键词: 配送中心; 时效性约束; 选址模型; 序列二次规划

中图分类号: U 492.3 **文献标志码:** A

Distribution Center Location Model Based on Economics and Timeliness

DONG Kai-fan, GAN Hong-cheng, ZHANG Hui-zhen

(Center for Supernetworks Research, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: The distribution center location based on economics and timeliness was studied to improve the service level of logistics system. A model with time constraint was proposed to optimize the location with the target of minimizing total cost. The sequential quadratic programming (SQP), one of the solution methods to this model, was discussed. One case of distribution center location was solved by using the location model presented and the SQP. The results indicate that the location model and SQP can optimize the distribution center location with time constraint effectively.

Key words: *distribution center; time constraint; allocation model; sequential quadratic programming*

配送中心是物流配送网络中的枢纽,也是流通企业实施供应链管理的重要设施之一.它是物流系统中以组织销售配送、供应配送、执行实物配送为主

要机能的流通型物流节点,也是从事货物配备(集货、加工、分货、拣选、配货)和组织对用户的送货,以高水平实现销售和供应服务的现代流通设施^[1].配

收稿日期: 2012-11-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51008195);上海市教委科研创新资助项目(09YZ205);上海市重点学科建设资助项目(S30504)

第一作者: 董开帆(1988-),男,硕士研究生.研究方向:智能交通、交通运输经济. E-mail: dongkaifan@163.com

通讯作者: 干宏程(1978-),男,副教授.研究方向:智能交通、交通规划. E-mail: hongchenggan@126.com

送中心的选址是在一个具有若干个供应点及若干个需求点的经济区域内,选择合理地址设置配送中心的规划过程^[2].配送中心作为经济、信息、价值的结合点,其选址的合理性对其功能的实现以及物流系统效率的提高具有重要的意义,而且也对城市规划、交通状况和环境等有着重要的影响.

影响配送中心选址的因素较多,主要包括:交通条件、辅助性基础设施、市场效益、政策与法规等^[3-5].这些影响因素主要分为定量因素和定性因素,许多学者对此进行了深入研究,提出了不同的模型和算法.从定量的角度看,主要方法包括:重心法、CFLP法、元胞自动机、0-1整数规划法等;从定性的角度看,主要方法包括:头脑风暴法、专家调查法、PERT法等^[6-7].此外,有些学者运用启发式算法如模拟退火法、蚁群算法、遗传算法等解决配送中心选址问题^[8-10].上述研究主要考虑选址的经济性,即通过合理的选址使运输成本、库存成本及其它的总消耗成本最少,并没有充分考虑配送过程中客户对送货时间的要求(时效性约束).但事实上,送货时间是衡量物流服务水平标准之一,是配送中心选址中需要考虑的重要因素.基于此,本文对具有时效性约束的配送中心选址问题进行了一定的探索和研究.

1 选址模型

假设条件:a.选址目标区域是连续的,区域内任意一点都是候选地点;b.用两点间的直线距离近似代替两点间的运输距离;c.时效性约束用最大允许配送距离来描述^[11-12].

问题定义:拟在区域内为 n 个客户建一个配送中心,将工厂的货物运送到配送中心之后转运给各客户.如图1所示,已知工厂坐标 (X, Y) ; 客户 j ($j = 1, 2, \dots, n$) 的坐标是 (x_j, y_j) ; 最大允许配送距离 S . 试确定配送中心的地址坐标 (x_0, y_0) , 使得在满足时效性约束的前提下总费用最小.

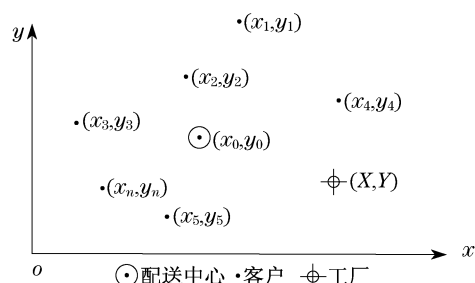


图1 配送中心、客户和工厂

Fig.1 Distribution center, client and factory

根据上述假设条件,具有时效性约束的配送中心选址问题可写为

$$\min_{(x_0, y_0)} f(x_0, y_0) \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sqrt{(x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2} - S \leq 0 \quad (2)$$

其中,目标函数 $f(x_0, y_0)$ 可写为

$$f(x_0, y_0) = T + G + C = eW + aWs + \sum_{j=1}^n a_j w_j s_j = eW + aW \sqrt{(x_0 - X)^2 + (y_0 - Y)^2} + \sum_{j=1}^n a_j w_j \sqrt{(x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2} \quad (3)$$

式中, T 为配送中心的库存成本, $T = eW$; G 为工厂到配送中心的运输费用, $G = aWs$; C 为配送中心到所有客户的运输费用总和, $C = \sum_{j=1}^n a_j w_j s_j$; e 为配送中心的每单位量库存费用; W 为总库存量(即总运输量), $W = \sum_{j=1}^n w_j$; a 为工厂到配送中心的每单位量、每单位距离所需运输费用; s 为工厂到配送中心的直线距离, $s = \sqrt{(x_0 - X)^2 + (y_0 - Y)^2}$; a_j 为配送中心到客户 j 每单位量、每单位距离所需运输费用; w_j 为客户 j 的需求量; s_j 为配送中心到客户 j 的直线距离, $s_j = \sqrt{(x_0 - x_j)^2 + (y_0 - y_j)^2}$.

2 优化算法

2.1 传统迭代算法

若不考虑配送距离约束式(2),上述配送中心选址模型就是重心模型,可以利用传统迭代算法求解.

能使 $\frac{\partial f(x_0, y_0)}{\partial x_0} = 0$, $\frac{\partial f(x_0, y_0)}{\partial y_0} = 0$ 成立的 (x_0^*, y_0^*) , 即为所求配送中心的最佳位置. 由式(3)得

$$\frac{\partial f(x_0, y_0)}{\partial x_0} = aW(x_0 - X)/s + \sum_{j=1}^n a_j w_j (x_0 - x_j)/s_j = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial f(x_0, y_0)}{\partial y_0} = aW(y_0 - Y)/s + \sum_{j=1}^n a_j w_j (y_0 - y_j)/s_j = 0 \quad (5)$$

进而,由式(4)和式(5)可以求得 x_0^* 和 y_0^* 为

$$x_0^* = \frac{aWX/s + \sum_{j=1}^n a_j w_j x_j/s_j}{aW/s + \sum_{j=1}^n a_j w_j/s_j}$$

$$y_0^* = \frac{aWY/s + \sum_{j=1}^n a_j w_j y_j / s_j}{aW/s + \sum_{j=1}^n a_j w_j / s_j} \quad (6)$$

由 x_0^*, y_0^*, s 和 s_j 的数学表达式可知,无法由式(6)一次求出 x_0^* 和 y_0^* . 实际上,若采用传统的迭代算法,需要在确定初始解的基础上经过多次迭代计算才可以求出配送中心位置坐标和最小总费用.

理论和实践表明,传统的迭代算法虽然能够保证选址方案的经济性目标(总费用最小),但是一般不满足约束条件式(2),即不能保证时效性要求. 因此,传统的迭代算法无法有效地求解带有时效性约束的配送中心选址问题.

2.2 序列二次规划算法

带时效性约束的配送中心选址模型(式(1)~(2)),属于有约束的非线性优化问题,该类问题可以利用序列二次规划算法(SQP)求解. SQP 的基本思想是把非线性规划问题转化成一系列二次规划子问题,每个子问题确定一个下降方向,最终求得问题的最优解.

考虑非线性约束优化问题

$$\min f(x) \quad (7)$$

$$\text{s. t. } g_j(x) \leq 0, j \in I = \{1, 2, \dots, n\} \quad (8)$$

其中, $f(x)$ 为目标函数, $g_j(x)$ 为约束条件.

记与式(7)~(8)相应的 Lagrangian 函数 $L(x, u)$ 和可行集 X 分别为

$$L(x, u) = f(x) + \sum_{j=1}^n u_j g_j(x) \quad (9)$$

$$X = \{x \in \mathbb{R}^n \mid g_j(x) \leq 0, j \in I\} \quad (10)$$

其中, u 为 Lagrangian 乘子, $\mathbb{R}^n$ 为 n 维实数集.

设 $x^* \in X$, 若存在 $u^* = (u_j^*, j \in I) \in \mathbb{R}^n$, 使得下述式(11)成立, 则称 x^* 为式(7)~(8)的 Karush-Kuhn-Tucker 点(简称 KKT 点), (x^*, u^*) 为式(9)的一个 KKT 点对.

$$\left. \begin{aligned} \nabla f(x^*) + \sum_{j=1}^n u_j^* \nabla g_j(x^*) &= 0 \\ g_j(x^*) &\leq 0, u_j^* g_j(x^*) = 0, u_j^* \geq 0, j \in I \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

现考虑二次规划问题

$$\begin{aligned} \min \quad & \nabla f(x)^T d + \frac{1}{2} d^T H d \\ \text{s. t.} \quad & g_j(x) + \nabla g_j(x)^T d \leq 0, j \in I \end{aligned} \quad (12)$$

其中, $H \in \mathbb{R}^{n \times n}$ 是一个正定矩阵.

设 (d, λ) 为式(12)的 KKT 点对, 则

$$\left. \begin{aligned} \nabla f(x) + H d + \sum_{j=1}^n \lambda_j \nabla g_j(x) &= 0 \\ g_j(x) + \nabla g_j(x)^T d &\leq 0 \\ (g_j(x) + \nabla g_j(x)^T d) \lambda_j &= 0, \lambda_j \geq 0, j \in I \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

其中, 式(12)的解 d 通常作为下降搜索方向. 如果 $d = 0$, 则式(13)等价于式(7)~(8)的 KKT 条件.

鉴于上述事实, 可以利用 SQP 算法求解带有时效性约束的配送中心选址问题式(1)~(2). 算法的具体步骤如下:

Step 1 给出配送中心初始点 $x^0 = (x_0, y_0)$, 初始正定矩阵 H^0 , 令 $k = 0$.

Step 2 在 x^k 处, 求解二次规划式(14), 得解 d_k .

$$\begin{aligned} \min \quad & \nabla f(x^k)^T d + \frac{1}{2} d^T H^k d \\ \text{s. t.} \quad & g_j(x^k) + \nabla g_j(x^k)^T d \leq 0, j \in I \end{aligned} \quad (14)$$

其中,

$$\begin{aligned} \nabla f(x^k) &= \left(\frac{aW(x_k - X)}{\sqrt{(x_k - X)^2 + (y_k - Y)^2}} + \right. \\ &\quad \frac{\sum_{j=1}^n a_j w_j (x_k - x_j)}{\sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2}}, \\ &\quad \frac{aW(y_k - Y)}{\sqrt{(x_k - X)^2 + (y_k - Y)^2}} + \\ &\quad \left. \frac{\sum_{j=1}^n a_j w_j (y_k - y_j)}{\sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2}} \right) \end{aligned} \quad (15)$$

$$g_j(x^k) = \sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2} - S \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \nabla g_j(x^k) &= \left(\frac{x_k - x_j}{\sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2}}, \right. \\ &\quad \left. \frac{y_k - y_j}{\sqrt{(x_k - x_j)^2 + (y_k - y_j)^2}} \right) \end{aligned} \quad (17)$$

Step 3 令

$$x^{k+1} = x^k + \alpha_k d_k$$

其中, 步长 α_k 由某种线搜索确定. 如果 x^{k+1} 满足终止条件, 令 $x^* = x^{k+1}$, 算法终止; 否则转向 Step 4.

Step 4 修正 H^k , 使 H^{k+1} 保持正定.

Step 5 令 $k = k + 1$, 返回 Step 2.

3 算例分析

某市现有一新鲜蔬菜生产基地 P, 对市内的 7 家大型超市供应蔬菜. 生产基地 P 的位置坐标, 各超市的位置坐标及各超市的蔬菜需求量如表 1 所

示,生产基地与各超市之间的距离如表 2 所示. 为降低蔬菜总的物流配送成本,要在生产基地附近或市内建立蔬菜配送中心,将生产基地的新鲜蔬菜配送给各超市. 配送中心每吨的库存成本 $e = 2$ 万元,从生产基地到配送中心每吨货物运输费 $a = 0.2$ 万元,配送中心到超市每吨货物运输费 $a_j = 0.5$ 万元. 而采用直接运输方式,从生产基地到超市每吨运输费 $r_j = 0.5$ 万元. 为避免蔬菜由于长时间运输而出现质量问题,配送中心到超市的配送距离不得大于 6.5 km. 试确定配送中心的地址坐标.

表 1 生产基地及超市的坐标位置 and 需要量
Tab.1 Location and requirement of production base and supermarket

客户	横坐标/km	纵坐标/km	需要量/t
R1	4	14	10
R2	3	9	5
R3	7	11	15
R4	13	8	5
R5	7	6	20
R6	3	4	15
R7	11	4	10
P	21	12	80(输出量)

表 2 生产基地与各超市之间的距离
Tab.2 Distance between production base and supermarket

客户	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
距离/km	17.1	18.2	14.0	8.9	15.2	19.7	12.8

本文利用常用的数学运算软件 Matlab 7.0 将求解配送中心选址问题的算法编程来进行算例分析计算,并采用地理重心作为优化算法运行的初始可行解^[13].

a. 若采取工厂直送方式,则运输费用即总费用为

$$\begin{aligned} C = \sum_{j=1}^n r_j w_j s_j = & 0.5 \times 10 \times 17.1 + 0.5 \times 5 \times 18.2 + \\ & 0.5 \times 15 \times 14.0 + 0.5 \times 5 \times 8.9 + \\ & 0.5 \times 20 \times 15.2 + 0.5 \times 15 \times 19.7 + \\ & 0.5 \times 10 \times 12.8 = 622 \text{ 万元} \end{aligned}$$

b. 若不考虑时效性约束,运输距离和费用如表 3 所示,采用传统迭代算法进行求解,可得配送中心地址坐标为[8.39 km, 7.86 km],总费用为 557 万元.

表 3 无时效约束的运输距离和费用
Tab.3 Transport distance and cost without time restrictions

客户	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	P
运输距离/km	7.55	5.51	3.43	4.61	2.32	6.63	4.66	13.27
运输费用/万元	37.75	13.78	25.73	11.53	23.20	49.73	23.30	213.92

c. 考虑时效性约束,运输距离和费用如表 4 所示,采用 SQP 算法求解,可得配送中心地址坐标为[7.60 km, 8.59 km],总费用为 561 万元.

表 4 有时效性约束的运输距离和费用
Tab.4 Transport distance and cost with time restrictions

客户	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	P
运输距离/km	6.50	4.62	2.48	5.43	2.66	6.50	5.71	13.83
运输费用/万元	32.50	11.55	18.60	13.58	26.60	48.75	28.55	221.28

由以上分析计算,可得出以下结论:a. 相对于工厂直送方式,合理的建设配送中心可以在经济上节省费用;b. 基于时效性要求的配送中心选址方案,虽然可能会略微增加总费用(本算例中不足 1%),但经济成本上升幅度有限,且调整后的选址方案满足每个客户对送货时间的要求,显著提高了服务水平,对提高物流系统的运作效率具有十分积极的意义.

4 结 语

配送中心选址问题是一项复杂、庞大、涉及面比较广的系统工程,需要考虑诸多因素. 本文不仅考虑了运输成本、库存成本等经济性因素,同时也考虑了客户对送货时间的要求,建立了考虑经济性和时效性的配送中心选址模型,弥补了传统的选址问题主要考虑经济因素,忽视或很少考虑服务水平的缺陷. 通过实例分析,表明该模型对配送中心的选址有很好的指导意义.

下一步的研究设想有:a. 将时效性要求作为时间惩罚成本融入到目标函数中,以适应更广泛的情况;b. 针对模型算法,考虑最大允许配送距离对模型可行解的存在性问题的影响;c. 研究最大允许配送距离与考虑时效性约束后经济成本上升幅度的数学关系. (下转第 344 页)

糊算子的选取. 模糊算子的选择是否合适, 直接影响决策效果. 所以, 首先要分析比较各个算子的优缺点, 再根据实际需求权衡利弊, 进而决定采用何种算子, 并在实践过程中不断改进, 以得到更贴合实际的结果.

b. 在评判的过程中, 各个因素的权重和隶属度的建立, 很大程度上取决于专家的判断, 故而在实际应用时, 若有条件结合更多专家的意见, 则可以提高综合评价可靠性. 因此, 社区文明度评价系统仍有很大的研究空间.

参考文献:

- [1] Saaty T L. Decision-making, scaling, and number

crunching[J]. Decision Sciences, 1989, 20(1): 404 - 409.

- [2] 马引弟, 黎延海. 基于模糊层次分析法的高校课堂教学质量综合评价模型[J]. 产业与科技论坛, 2009, 8(2): 118 - 119.
- [3] 李安贵, 张志宏, 孟艳, 等. 模糊数学及其应用[M]. 武汉: 冶金工业出版社, 2003.
- [4] 隋伟鑫, 周亦敏. 模糊理论在网络流量攻击检测中的应用[J]. 上海理工大学学报, 2010, 32(4): 369 - 372.
- [5] Wolkenhauer O. Data engineering, Fuzzy mathematics in systems theory and data analysis[M]. New York: John Wiley and Sons, 2009.

(编辑: 石 瑛)

(上接第 339 页)

参考文献:

- [1] 陈达强. 配送与配送中心运作与规划[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2008.
- [2] 刘志强, 丁鹏, 盛焕烨. 物流配送系统设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [3] 高更君, 王震宇, 黄卫. 基于多目标模糊决策的公共物流中心选址研究[J]. 公路交通科技, 2004, 21(9): 140 - 144.
- [4] 郜振华, 陈森发, 黄鹂, 等. 基于灰色综合评价的物流中心选址方法[J]. 公路交通科技, 2005, 22(9): 159 - 162.
- [5] 莫海熙, 郜振华, 陈森发. 基于 AHP 和目标规划的物流配送中心选址模型[J]. 公路交通科技, 2007, 24(5): 150 - 153.
- [6] 丁雪枫, 马良, 丁雪松. 基于模拟植物生长算法的易腐物品物流中心选址[J]. 系统工程, 2009, 27(2): 96

- 101.

- [7] 朱刚, 马良. 基于元胞自动机的物流系统选址模型[J]. 上海理工大学学报, 2006, 28(1): 19 - 22.
- [8] 胡萍, 盖宇仙. 遗传模拟退火算法在配送中心选址中的应用[J]. 物流科技, 2007(2): 143 - 145.
- [9] 秦固. 基于蚁群优化的多物流配送中心选址算法[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 27(4): 120 - 124.
- [10] 王战权, 杨东援, 汪超. 配送中心选址的遗传算法研究[J]. 物流科技, 2001(3): 11 - 14.
- [11] 李卫江, 郭晓汾, 张毅, 等. 基于 Matlab 优化算法的物流中心选址[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2006, 26(3): 76 - 79.
- [12] 龚延成, 蔡团结. 带时效性约束的物流中心选址研究[J]. 公路交通科技, 2004, 12(21): 141 - 143.
- [13] 魏光兴. 物流配送中心选址的一个离散模型研究[J]. 重庆交通学院学报, 2006, 4(25): 124 - 128.

(编辑: 丁红艺)