

文章编号: 1001-0920(2005)10-1125-04

B2C 电子商务中配送中心选址优化的模型与算法

蒋忠中, 汪定伟

(东北大学 信息科学与工程学院, 沈阳 110004)

摘要: 在考虑商品供应成本因素的基础上, 结合B2C电子商务企业物流配送网络的特点, 建立了混合0-1整数规划的配送中心选址优化模型。该模型是一种特殊形式的选址-分配模型, 具有NP难性质。为求解上述模型, 开发了嵌入表上作业法的遗传算法。实例研究表明, 该算法能高效求得模型的优化解, 是求解物流配送中心选址这类复杂优化问题的一个较好方法。

关键词: 电子商务; 物流; 配送中心; 选址-分配; 遗传算法

中图分类号: TP29

文献标识码: A

Model and Algorithm of Location Optimization of Distribution Centers for B2C E-commerce

J I A N G Zhong-zhong, W A N G D i n g -w e i

(School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Correspondent: J I A N G Zhong-zhong, E-mail: neujjz@163.com

Abstract: Based on the supply cost of commodity and the distribution system characteristics of business to customer E-commerce companies, a mixed 0-1 integer programming model is built for optimizing the location of distribution centers. The model is in fact a special type of classic location-allocation models and has NP-hard complexity. To solve the model, a genetic algorithm with table working is developed. The algorithm can find the optimal or nearly optimal solution efficiently to this model. Examples show that it is a good method to solve the complicated optimization problems of the location of logistics distribution centers.

Key words: E-commerce; Logistics; Distribution centers; Location-allocation; Genetic algorithm

1 引言

物流作为“第三利润”的源泉, 近年来已逐渐成为众多企业、专家和学者的研究热点^[1,2]。在整个物流系统中, 配送中心地点的选择更是物流系统优化的一个具有战略意义的问题。传统意义上的物流配送中心是商品从供应商(制造商)至零售商之间的中间储存点, 具有集中和分散物资, 促进商品迅速流转的功能。基于配送中心及其位置的重要作用, 众多科研人员对这一问题开展了研究工作, 并建立了一系列的选址优化模型^[3~6]。然而, 这些模型大多以配送中心与供应商及零售商之间的运费和配送中心自身的建设以及管理费用作为优化目标, 并没有考虑商

品供应成本这一因素。另一方面, 随着网络通信和信息技术的飞速发展, Internet 在全球迅速普及, 电子商务正逐渐成为经济增长的新亮点和未来商务发展的趋势。这一趋势使得多数企业面临“多品种、多批次、小批量、需求个性化”的现代化市场, 尤其B2C电子商务企业, 其服务的对象不再是零售商, 而是直接面对个体需求量大、品种丰富、位置分散的众多顾客, 他们对配送中心的配送服务提出了定量、定点、定时等高要求。

基于以上两方面考虑, 本文建立了B2C电子商务环境下的配送中心选址优化模型, 并开发了嵌入表上作业法的遗传算法^[7,8]对模型进行求解。

收稿日期: 2004-09-10; 修回日期: 2005-03-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(70431003, 07171056)。

作者简介: 蒋忠中(1979—), 男, 湖南邵阳人, 博士生, 从事电子商务中的建模与优化研究; 汪定伟(1948—), 男, 江西彭泽人, 教授, 博士生导师, 从事复杂系统建模与优化、智能优化算法等研究。

2 问题描述与模型

B2C 电子商务中配送中心选址优化模型的基本思想可描述如下: B2C 型电子商务企业根据某个区域(如一个城市)在一个计划期内各个顾客(或顾客群体)对各类商品的需求量和商品供应点的供应量及其地理位置,从备选的配送中心中选择一个或多个配送中心,使得整个配送系统的总体成本最小! 这里,总体成本包括供应点商品的供应成本,供应点到配送中心的运输费用,配送中心的固定投资和管理费用,商品在配送中心的流通加工费用以及配送中心到顾客的配送运输费用 为了便于建立模型,作以下几个基本假设:

假设 1 在一定的备选配送中心中选取最优配送中心;

假设 2 每个顾客有且仅有一个配送中心为之配送;

假设 3 计划期内顾客对各类商品的需求量和供应点的供应量可预测得到;

假设 4 商品为多种类商品

其中假设 2 保证了每个顾客都可从其唯一对应的配送中心一次性得到所需的各类商品,这种配送服务能够满足顾客对电子商务企业配送提出的高要求,有利于提高顾客通过电子商务购物的满意度

模型描述的配送系统可看成一类二级运输系统,如图 1 所示

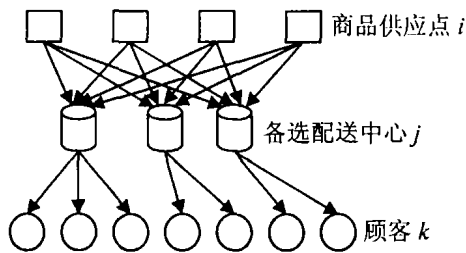


图 1 B2C 电子商务的物流配送系统

下面给出 B2C 电子商务中配送中心选址优化的数学模型:

$$\begin{aligned} \text{Min } & \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} H_{il} \sum_{j \in J} x_{ijl} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} C_{ijl} x_{ijl} + \\ & \sum_{j \in J} F_j y_j + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} S_{jl} \sum_{l \in L} x_{ijl} + \\ & \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} B_{jkl} D_{kl} z_{jk} \end{aligned} \tag{1}$$

s t

$$\sum_{j \in J} x_{ijl} \leq A_{il}, i \in I, l \in L; \tag{2}$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijl} = \sum_{k \in K} D_{kl} z_{jk}, j \in J, l \in L; \tag{3}$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} w_{il} x_{ijl} \leq M_j y_j, j \in J, \tag{4}$$

$$\sum_{j \in J} y_j \leq P; \tag{5}$$

$$\sum_{j \in J} z_{jk} = 1, k \in K; \tag{6}$$

$$R y_j - \sum_{k \in K} z_{jk} \geq 0, j \in J; \tag{7}$$

$$x_{ijl} \geq 0, i \in I, j \in J, l \in L; \tag{8}$$

$$y_j = 0, 1, j \in J; \tag{9}$$

$$z_{jk} = 0, 1, j \in J, k \in K. \tag{10}$$

模型中有两类符号,即模型的决策变量和模型参数

决策变量: x_{ijl} 为供应点 i 到配送中心 j 商品 l 的运输量; y_j 为配送中心 j 是否被选建,如果是其值为 1, 否则为 0; z_{jk} 为顾客 k 是否由配送中心 j 配送,如果是其值为 1, 否则为 0

模型参数: I 为商品供应点集合 $\{i | i = 1, \cdots, M\}$, J 为备选配送中心集合 $\{j | j = 1, \cdots, N\}$, K 为顾客集合 $\{k | k = 1, \cdots, R\}$, L 为商品种类集合 $\{l | l = 1, \cdots, T\}$, H_{il} 为供应点 i 单位商品 l 的成本, C_{ijl} 为供应点 i 到配送中心 j 单位商品 l 的运输费用, F_j 为配送中心 j 的固定投资和管理费用, B_{jkl} 为配送中心 j 到顾客 k 单位商品 l 的配送运输费用, D_{kl} 为顾客 k 的对商品 l 计划期内的需求量, S_{jl} 为配送中心 j 单位商品 l 的流通加工费用, A_{il} 为供应点 i 商品 l 计划期内的最大供应量, M_j 为配送中心 j 的容量, w_{il} 为商品 l 的容量系数, P 为配送中心的最多建设数

目标函数(1)表示整个配送系统总费用最小,总费用由 5 部分组成,分别为商品供应成本、运输费用、配送中心固定投资和管理费用、配送中心商品流通加工费用以及配送运输费用 约束条件(2)表示从供应点运往配送中心的各类商品数不超过其最大的供应量; 约束条件(3)保证每个配送中心各类商品数出入平衡; 约束条件(4)保证每个配送中心的配送量不大于其容量,这里的配送量是各类商品量与其容量系数乘积的累加; 约束条件(5)表示配送中心最多可建设个数; 约束条件(6)保证每个顾客有且仅能由一个配送中心进行配送; 约束条件(7)保证顾客所需各类商品只能从其所属的配送中心发送; 式(8)~ (10)为决策变量

这是一类选址-分配问题^[9, 10],它与供应链分销网络设计中的中心仓库的选址问题有一定的相似之处^[11]. 不同点体现在物流配送中心与中心仓库的职能差异,前者自身没有商品需求,且设立的主要目的是加快商品中转和负责商品的流通加工,服务对象是终端顾客;而后者自身有商品需求,其主要职能是

商品存储和对商品下级中间商的分销 模型的形式为混合 0-1 整数规划模型

3 模型的求解算法

对于经营多类商品的B2C 电子商务企业而言, 他们大多拥有庞大的顾客群 相应地, 上述模型的变量和约束亦非常多, 因而模型属于大规模的混合 0-1 整数规划模型, 且具有NP 难性质^[12]. 如果利用传统优化方法, 如分枝定界法, 很难在合理的时间内求得模型最优解 为此, 依据模型的特点, 本文采用嵌入表上作业法的遗传算法求解上述模型

算法设计如下:

1) 编码方法 采用自然数编码 例如: 设有 3 个供应点, 6 个备选的配送中心, 10 个顾客, 那么可根据相应约束以及顾客与配送中心对应关系进行编码, 如 2 343 114 361, 则表示顾客 1 由配送中心 2 配送, 顾客 2 由配送中心 3 配送, 顾客 3 由配送中心 4 配送, 依次类推

2) 产生初始种群 采取随机生成的方法产生 N_p 个染色体, 根据每个配送中心的容量确保每个初始染色体对应一个可行解

3) 确定适值函数 根据每个染色体的编码, 可以确定选建的配送中心及其负责配送的顾客; 然后在配送中心与供应点之间分别进行每类商品的运输分配 这里通过将每类商品的供应成本和流通加工成本折合成供应点到配送中心的运费, 于是问题简化成运筹学中产销不平衡的运输问题, 可用表上作业法快速求解, 从而得到每个染色体的目标函数值 $f(x)$. 另外, 对于超出配送中心容量和配送中心最大建设数的染色体采用惩罚策略 因为目标函数是求最小值, 所以这里的适值函数定义为目标函数的倒数, 即

$$F(x) = 1/(f(x) + M),$$

式中M 为相应的惩罚值

4) 选择算子 采用正比选择与最优保留相结合

的策略, 即当前代最好的染色体不参与正比选择, 而直接进入下一代, 其他染色体 j 被选择进入下一代的概率 $P_r(j)$ 为

$$P_r(j) = F(x^j)/\text{Sum}, j = 1, 2, \cdots, N_p - 1$$

其中: N_p 为种群规模, Sum 为当前种群中除最优染色体外所有染色体适值的和

5) 交叉算子 采用双切点交叉

6) 变异算子 以一定的变异概率对染色体的每一位进行变异, 以加大变异对种群多样性的影响

7) 最优选择与终止准则 保存历史最好解, 指定最大代数作为停止准则, 即选一个大的正整数 N_G 为最大的代数 若迭代指标 k 大于 N_G , 则停止迭代并输出历史最好解作为最终的结果

上述算法采用程序设计语言在计算机上实现 大量数例计算表明, 该算法能高效求得问题的优化解 限于篇幅, 下面仅给出一个实际算例的求解结果

4 计算举例

设某小型B2C 电子商务企业有 4 个商品供应点, 分别供应 2 类商品, 6 个备选配送中心, 15 个顾客, 商品 1 的容量系数 $w_1 = 0.8\text{m}^3/\text{件}$, 商品 2 的容量系数 $w_2 = 0.5\text{m}^3/\text{件}$, 配送中心最多建设数 $P = 5$, 其他相关参数如表 1 和表 2 所示 算法采用 Java 语言在 Windows 平台上 (主频 PM 4/2 2G, 内存 256M) 实现 遗传算法的种群规模为 200, 交叉率和变异率分别为 0.8 和 0.03, 迭代次数为 400, 超量惩罚系数为 1 000 求得的最优目标值及其对应的最优决策变量如表 3~ 表 6 所示

根据计算结果, 配送中心 1, 2, 4 被选建, 且配送中心 1 负责顾客 3, 4, 6, 8, 9 的配送, 配送中心 2 负责顾客 7, 13, 15 的配送, 配送中心 4 负责顾客 1, 2, 5, 10, 11, 12, 14 的配送 供应点与选建配送中心依据表 3 分别进行商品 1 和商品 2 的最优运输分配 目标函数的最优值为 $f^* = 2\,394\,700$ 元

表 1 供应点到配送中心的相关参数

$C_{ji}/\text{百元}$	配送中心						$H_{ii}/\text{百元}$	$A_{ii}/\text{件}$
	1	2	3	4	5	6		
供应点 1	10/8	11/10	20/18	15/13	16/20	14/19	55/45	20/40
供应点 2	8/9	15/17	13/15	17/12	11/11	12/14	60/55	30/25
供应点 3	12/10	9/8	14/15	15/17	11/9	10/19	47/62	10/35
供应点 4	10/16	11/10	14/12	12/9	13/13	9/15	53/53	40/50
$S_{ji}/\text{百元}$	12/10	15/17	19/15	9/8	17/11	10/18		
M_j/m^3	50	40	60	80	90	120		
$F_j/\text{百元}$	1 800	1 100	2 200	2 600	2 950	3 500		

表 2 配送中心到顾客的相关参数

B_{jkl} /百元	顾 客														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
配送中心 1	7/11	2/17	12/8	3/10	19/4	1/3	12/13	2/9	4/6	5/15	20/4	11/10	20/16	11/20	17/3
配送中心 2	14/9	16/13	9/16	14/12	11/10	17/15	1/1	11/4	4/8	9/19	5/15	12/8	3/3	11/13	7/9
配送中心 3	20/15	4/7	10/12	16/6	20/10	5/5	12/8	3/13	11/1	7/14	7/7	2/12	12/2	3/13	19/9
配送中心 4	20/10	11/15	20/9	11/14	17/7	10/18	10/12	4/14	17/7	6/16	3/13	13/3	19/11	6/16	15/5
配送中心 5	3/8	13/12	19/16	6/6	15/10	12/2	9/19	5/14	3/13	14/4	11/14	17/7	1/11	11/1	4/14
配送中心 6	20/10	4/14	10/6	16/12	20/18	3/13	13/5	19/9	6/16	15/5	5/15	12/2	3/13	11/1	7/17
D_{kl} /件	5/15	4/8	2/12	6/16	5/4	8/5	1/11	8/9	3/13	7/7	9/18	10/2	7/19	3/1	6/3

表 3 选建的配送中心和其对应配送的顾客

变量	值	变量	值	变量	值
y_1	1	$z_{4,1}$	1	$z_{1,4}$	1
y_2	1	$z_{4,2}$	1	$z_{4,5}$	1
y_4	1	$z_{1,3}$	1	$z_{1,6}$	1
$z_{2,7}$	1	$z_{4,10}$	1	$z_{2,13}$	1
$z_{1,8}$	1	$z_{4,11}$	1	$z_{4,14}$	1
$z_{1,9}$	1	$z_{4,12}$	1	$z_{2,15}$	1
其他	0				

表 4 供应点与选建配送中心间
2 类商品的运输分配 件

变量	值	变量	值
$x_{1,1,1}$	13 0	$x_{2,1,1}$	14 0
$x_{1,2,1}$	4 0	$x_{3,2,1}$	10 0
$x_{1,4,1}$	3 0	$x_{4,4,1}$	40 0
$x_{1,1,2}$	35 0	$x_{2,4,2}$	5 0
$x_{1,2,2}$	5 0	$x_{3,2,2}$	28 0
$x_{2,1,2}$	20 0	$x_{4,6,2}$	50 0
其他	0 0		

表 5 总费用(最优目标值)
及其各类组成费用 百元

总费用(最优目标值)	23 947. 0
供应成本	12 091. 0
运输费用	2 105. 0
投资和管理费用	5 500. 0
流通加工费用	2 472. 0
配送费用	1 779. 0

5 结 论

B2C 电子商务中物流配送中心的优化选址是一个复杂的系统工程 本文在考虑商品供应成本这一因素的同时, 结合 B2C 电子商务企业物流配送网络的特点, 建立了混合 0-1 整数规划的配送中心选址优化模型, 并开发了嵌入表上作业法的遗传算法对

模型进行求解 通过实例计算取得了满意的结果 文中提出的数学模型和优化算法为 B2C 电子商务企业物流配送网络的优化选址提供了一个可行的方法

参考文献(References)

[1] Elliot R, Joseph P B. Physical Distribution Service Quality in Internet Retailing: Service Pricing, Transaction Attributes, and Firm Attributes[J] *J of Operations Management*, 2004, 21(6): 651-672

[2] Niklids A, Fredrik Se Electronic Commerce, Marketing Channels and Logistics Platforms — A Wholesaler Perspective [J] *European J of Operation Research*, 2003, 144(2): 270-279

[3] Andreas K, Andreas D. Facility Location Models for Distribution System Design [J] *European J of Operational Research*, 2005, 162(1): 4-29

[4] Vaidyanathan J, Anthony R. A Simulated Annealing Methodology to Distribution Network Design and Management[J] *European J of Operational Research*, 2003, 144(3): 629-645

[5] 吕海峰, 马维忠, 王衍华 基于网络分析方法的物流配送中心选址的研究[J] *运筹与管理*, 2004, 13(6): 80-85

(Lu H F, Ma W Z, Wang Y H. A Study on the Location Selection of Logistics Distribution Center Based on the Network Analysis[J] *Operation Research and Management Science*, 2004, 13(6): 80-85)

[6] 张培林, 魏巧云 物流配送中心选址模型及其启发式算法[J] *交通运输工程学报*, 2003, 13(12): 65-68

(Zhang P L, Wei Q Y. Logistics Distribution Center Allocation Model and Elicitation Algorithm [J] *J of Traffic and Transportation Engineering*, 2003, 13(12): 65-68)

[7] 玄光男, 程润伟 *遗传算法与工程设计*[M] 北京: 科学出版社, 2000: 1-22

(Xuan G N, Cheng R W. *Genetic Algorithm and Engineering Design* [M] Beijing: Science Press, 2000: 1-22)

(下转第 1136 页)

- via Fast Sampling for Sampled-data Control Systems [A] *Proc of the 36th Conf on Decision and Control* [C] San Diego, 1997: 2157-2162
- [7] Yamamoto Y, Anderson B D O. Approximating Sampled-data Systems with Applications to Digital Redesign [A] *Proc of the 41st IEEE Conf on Decision and Control* [C] Las Vegas, 2002: 3724-3709
- [8] Araki M, Ito Y, Hagiwara T. Frequency Response of Sampled-data Systems [J] *Automatica*, 1996, 32 (4): 483-497.
- [9] Braslavsky J H, Middleton R H, Freudenberg J S. L_2 -Induced Norms and Frequency Gains of Sampled-data Sensitivity Operators [J] *IEEE Trans Automatic Control*, 1998, 43(2): 252-258
- [10] Anderson B D O. Controller Design: Moving from Theory to Practice [J] *IEEE Control Systems*, 1993, 13(4): 16-25
- [11] Franklin G F, Powell J D, Workman M. *Digital Control of Dynamic Systems* [M] 3rd Edition. Beijing: Tsinghua University Press, 2001
- [12] Wang G X, Liu Y W, He Z, et al. The Lifting Technique for Sampled-data Systems: Useful or Useless? [J] *Acta Automatica Sinica*, 2005, 31 (3): 491-494

(上接第 1128 页)

- [8] 吴祈宗. 运筹学 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002: 95-108
(Wu Q Z. *Operation Research* [M]. Beijing: China Machine Press, 2002: 95-108)
- [9] Shamsur R, David K S. Use of Location-allocation Models in Health Service Development Planning in Developing Nations [J] *European J of Operational Research*, 2000, 123(3): 437-452
- [10] Bongartz I A. Projection Method for Norm Location-allocation Problems [J] *Mathematical Programming*, 1994, 66(3): 283-312
- [11] 赵晓煜, 汪定伟. 供应链中二级分销网络的优化设计模型 [J] *管理科学学报*, 2001, 4(4): 22-26
(Zhao X Y, Wang D W. Optimization Model for Bi-level Distribution Network Design Supply Chain Management [J] *J of Management Science*, 2001, 4 (4): 22-26)
- [12] Alsuwaiyel M H. *Algorithm Design Techniques and Analysis* [M]. Singapore: World scientific publishing Co Pte Ltd, 2003: 279-298

(上接第 1132 页)

- [3] Burges C J C. A tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition [J] *Knowledge Discovery and Data Mining*, 1998, 2(2): 121-167.
- [4] 曾文华, 马健. 一种新的支持向量机增量学习算法 [J] *厦门大学学报(自然科学版)*, 2002, 41(6): 687-691.
(Zeng W H, Ma J. A Novel Approach to Incremental SVM Learning Algorithm [J] *J of Xiamen University (Natural Science)*, 2002, 41(6): 687-691)
- [5] 李凯, 黄厚宽. 支持向量机增量学习算法研究 [J] *北方交通大学学报*, 2003, 27(5): 34-37.
(Li K, Huang H K. Research on Incremental Learning Algorithm of Support Vector Machine [J] *J of Northern Jiaotong University*, 2003, 27(5): 34-37.)
- [6] 萧嵘, 王继成, 孙正兴, 等. 一种 SVM 增量学习算法 α -ISVM [J] *软件学报*, 2001, 12(12): 1818-1824
(Xiao R, Wang J C, Sun Z X, et al. An Incremental SVM Learning Algorithm α -ISVM [J] *J of Software*, 2001, 12(12): 1818-1824)
- [7] Gert C, Tomaso P. Incremental and Decremental Support Vector Machine Learning [A] *Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS * 2000)* [C] Cambridge MA: MIT Press, 2001, 13
- [8] Schölkopf B. *The Kernel Trick for Distances* [R] MSR-TR-2000-51, Microsoft Research, 2000
- [9] Smola A J. *Learning with Kernels* [D] Berlin: Technische Universität, 1998
- [10] Platt J. Fast Training of Support Vector Machines Using Sequential Minimal Optimization [A] *Advances in Kernel Methods - Support Vector Learning* [C] Cambridge, MA: MIT Press, 1999: 185-208