

基于层次遗传算法的物流配送中心选址策略^{*}

李昌兵, 杜茂康, 曹慧英

(重庆邮电大学 电子商务与现代物流重点实验室, 重庆 400065)

摘 要: 在考虑物流规划部门和客户双方利益的基础上,采用双层规划模型描述物流配送中心的选址问题。基于进化博弈与多目标优化的思想设计了层次遗传算法来求解该模型,通过两个遗传算法的交互迭代求解物流配送中心选址问题。最后通过算例验证了模型与算法的可行性。

关键词: 层次遗传算法; 双层规划; 配送中心选址; 进化博弈; 多目标优化

中图分类号: TP301.6

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)01-0057-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.01.015

Location strategy of logistics distribution centers based on hierarchical genetic algorithm

LI Chang-bing, DU Mao-kang, CAO Hui-ying

(Key Laboratory of Electronic Commerce & Modern Logistics, Chongqing University of Post & Telecommunication, Chongqing 400065, China)

Abstract: This paper considered both the benefit of customers and logistics planning department, and presented a bi-level programming model in order to seek the optimal location for logistics distribution centers. Based on the idea of evolutionary game and multi-objective optimization, designed a hierarchical genetic algorithm for the model. Through two genetic algorithms' interactive iteration to solve the distribution center location problem. Finally, illustrated the application of the model and its algorithm with a example.

Key words: hierarchical genetic algorithm; bi-level programming; location of logistics distribution centers; game evolution; multi-objective optimization

0 引言

随着经济全球化和信息网络技术的迅速发展,物流业已经成为我国经济发展的重要产业和新的经济增长点;物流作为“第三利润源泉”,也得到学界和业界的广泛关注。当前,如何有效地降低物流运作成本,提高物流运作效率和物流服务水平,已成为研究和应用的热点问题之一。

在物流网络系统中,配送中心是连接供需双方的桥梁,其选址策略是物流网络系统规划的核心问题,往往决定物流配网系统的结构、形状和配送模式,进而对物流系统的运作效率乃至物流行业经济效益的提高有重大影响。针对配送中心选址的研究,国内外的学者主要围绕配送中心选址模型的建立和求解两方面展开研究,在理论和实践上都取得了较大的成果。目前物流中心选址模型大致可分为连续性模型和离散性模型两类。连续性模型对备选地点没有特别限制,但是有可能得出没有实际意义的选址结果,其代表性的方法是重心法;离散性模型则是在有限的备选地点中选择最佳的地点,获得的选址结果较符合实际情况,其代表性的方法有整数或混合整数规划法、运输规划法、Cluster 法、CFLP 法、Kuehn-Hamburger 模型、Baumol-Wolfe 模型、Elson 模型等。目前离散型的选址模型是研究的重点。文献[1~3]对此有详细介绍。

当前物流配送中心选址研究的趋势是将各种方法进行有

机融合和有效衔接。要想得到符合实际情况的解决方案,有必要对各种因素统筹兼顾、全面安排。上述模型或者假定每个客户只能由一个物流中心服务,或者只是选择总费用最小的配送方案,均忽视了客户的选择行为。因此,文献[4]中提出利用双层规划来解决物流配送中心的选址问题,即把物流配送中心的优化问题看成一个 leader-follower 问题,决策部门(leader)可以通过政策和管理来改变某个物流中心的位置和配送成本,从而影响客户对物流中心的选择,但不能控制他们的选择;客户(follower)则对现有的物流中心进行比较,根据自己的需求特点和行为习惯来选择物流中心。这种关系可以用双层规划模型来描述。国外有些学者已采用了双层规划方法研究选址模型,双层规划模型的主从递阶的决策思想已经在博弈论中的 Stackelberg 博弈等诸多领域得到了广泛应用,相关成果参见文献[4,5]。

由于双层规划中 leader 和 follower 复杂交互行为,导致其搜索空间具有非凸性和不可微性,它已被证明为 NP-hard 问题。针对双层规划问题,目前已提出大量算法,大致可以分为精确性算法和启发式算法两大类。而多数精确算法依赖于搜索空间的先验知识,其对目标函数的可微性和凸性有严格要求,只能解决一些特殊的双层规划问题。由于启发式算法(如进化算法、模拟退火等计算智能技术)在求解优化问题时,对目标函数的可微性、凸性和梯度等信息没有特殊要求,在文献

收稿日期: 2011-06-23; 修回日期: 2011-07-28 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60905066); 重庆市教委科研基金资助项目(KJ070509)

作者简介: 李昌兵(1970-),男,四川华蓥人,副教授,博士,主要研究方向为计算智能、复杂系统优化(1cbss@126.com); 杜茂康(1969-),男,四川射洪人,教授,主要研究方向为数据处理; 曹慧英(1977-),女,四川绵阳人,讲师,硕士,主要研究方向为管理信息系统。

[6~8]中已提出启发式算法来解决双层规划问题。但在算法复杂度和最优解质量,尤其是非线性双层规划问题的求解效率等方面存在不足,且多数算法还要求对约束函数进行特殊处理。

为了准确反映决策层的决策行为和客户选择行为在物流配送中心选址过程中的博弈互动及其对选址决策的影响因素,本文利用双层规划来解决物流配送中心选址问题,提出和设计了层次遗传算法(HGA)来求解该模型。

1 选址问题描述

上层规划(leader)模型用来描述决策层在允许的固定投资范围内确定总费用(包括运输费用和配送中心的建设费用)最小的物流配送中心方案;而下层规划模型(follower)则是描述客户在多个配送中心之间决定其需求量分配的方案,使得总的客户费用最低。本文在文献[8]的选址模型的基础上,将工厂、配送中心及分销商之间的距离以显式的形式体现在决策目标函数中,以便于实际决策的需要。具体的配送中心选址模型如下所示。

1) 上层规划模型

$$(\text{leader}) \min F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} x_{ij} d_{ij} + \sum_{j=1}^n f_j z_j + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l p_{jk} w_{jk} d_{jk} \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^n f_j z_j \leq B \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n z_j \geq 1 \quad z_j \in \{0, 1\} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^l w_{jk} \leq M_k \quad \forall k = 1, \dots, l \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq V_j \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = \sum_{k=1}^l w_{jk} \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (6)$$

其中, C_{ij} 表示客户 i 由 j 地配送中心服务的单位运输单价; d_{ij} 表示客户 i 到配送中心 j 的距离 ($i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$); x_{ij} 表示客户 i 由 j 地配送中心所获得的需求量; f_j 表示 j 地建设配送中心的固定投资; z_j 为 0-1 变量, 如 j 地为配送中心, $z_j = 1$, 否则 $z_j = 0$; p_{jk} 为从工厂 k 到配送中心 j 的运输单价; w_{jk} 为工厂 k 到配送中心的运输量; M_k 为工厂 k 的供应能力; d_{jk} 为工厂 k 到配送中心 j 的距离; V_j 为配送中心的配送能力。其中, z_j, w_{jk} 为上层决策变量; B 为总投资限额。

约束条件说明: 式(2)确保配送中心建设费用不超过总投资额; 式(3)确保至少应建设一个配送中心; 式(4)为工厂供应能力约束; 式(5)为配送中心的配送能力约束; 式(6)为配送中心与工厂供需平衡约束。

在现实的物流配送系统中, 某个客户在考虑其需求量的分配时会受到所有客户分配需求量的影响。由于配送中心的广义费用会随着客户数量的增加而增加, 这会带来服务质量的降低, 导致某些客户会选择其他的配送中心, 从而使得相关客户的需求量分配发生变化。本文选址模型的下层规划用于描述客户对配送中心的选择行为, 通过下层规划可以获得客户在各配送中心所选择的需求量, 以此作为上层规划的基础数据, 从而为配送中心选址的决策提供科学依据, 因此可以这样描述下层模型。

2) 下层规划模型

$$(\text{follower}) \min T = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} C_{ij} d_{ij} \quad (7)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^n x_{ij} = U_i \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq V_j \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (9)$$

$$x_{ij} \leq M \times z_j \quad \forall i = 1, \dots, m, \forall j = 1, \dots, n \quad (10)$$

其中, U_i 表示客户 i 的需求量。式(8)保证客户的需求量在配送中心之间进行分配; 式(9)表示配送中心供应能力约束; 式(10)为客户需求量的非负约束。

2 求解配送中心选址问题的层次遗传算法

双层规划问题是具有递阶结构的系统优化问题, 由上述对双层规划求解算法的简单介绍可知, 当前多数算法只能求解特殊类型或者特定前提条件(如目标函数可微及决策空间为凸集)的双层规划问题。本文在遗传算法的基础上, 构建了层次遗传算法, 即集成两个改进的遗传算法分别求解上下两层的规划问题, 再通过二者之间的交互迭代博弈达到平衡状态, 以此来求解物流配送中心的选址问题。

2.1 层次遗传算法的原理

进化算法是在模拟生物体进化过程的基础上提出的解决搜索和优化问题的智能计算技术, 进化算法具有多点并行搜索以及不依赖于目标函数的导数信息等特点。遗传算法(genetic algorithm, GA)则是进化算法中应用较广泛的一类算法, 众多文献对此有详细介绍, 本文不再赘述。本文所提出的层次遗传算法是基于两个决策者之间进化博弈的思想而设计的顺序嵌套的优化算法。该算法可以迭代求解双层规划中所涉及的两个优化问题, 一方面在获得下层规划最优解 y 的基础上求解上层规划问题的最优解 x , 另一方面则是在上层规划最优解 x 的基础上求解下层规划的最优解 y , 然后又再次将 y 传递到上层规划模型作为上层优化求解的基础。通过两个种群的进化优化解决上下两层的优化问题。层次遗传算法的算法流程如图 1 所示。本文所提的层次遗传算法可以解决一般的不可微或非凸目标函数的线性或者非线性的双层规划问题。

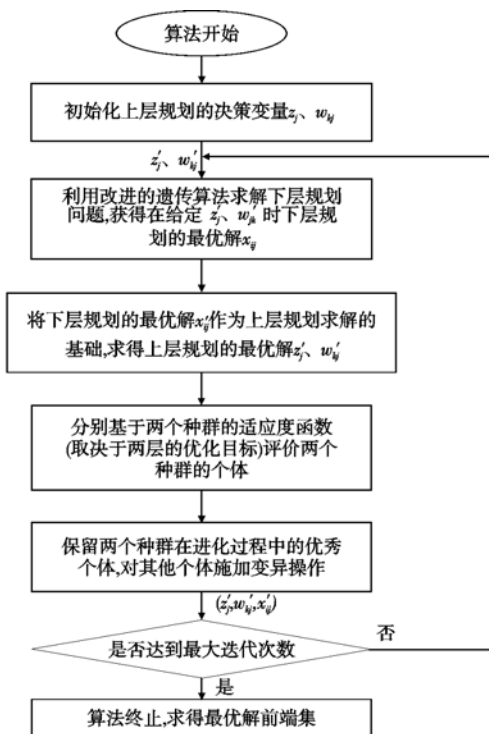


图1 层次遗传算法流程

为了减少算法的计算复杂度,在求解上下两层的规划问题时,可以限制其遗传进化代数作为外层循环当前的迭代次数。这种方法可以确保在进化初期,当上层规划的解不精确时,下层规划解的精度要求也可以降低。随着外层迭代次数的逐渐增大,上下层遗传进化代数也随之增大,其所求最优解的精度也逐渐增高。在外层迭代的末期,整个系统趋于 Stackelberg 均衡。

2.2 层次遗传算法的种群个体编码设计

上层个体(即上层决策变量 Z_j, w_{jk})的编码方式为: Z_j 采用二进制编码,为每个备选配送中心赋予一个 ID 号,编码位串的长度为备选中心个数与工厂数量之和,若某个备选地址被选中,其对应的位置为 1,否则为 0; w_{jk} 采用实数编码,下层个体(下层决策变量 x_{ij})编码采用实数编码,其个体为客户的需求量选择。为简化算法计算量,首先,根据上层决策者的配送中心选择方案进行预处理,即各客户对于未被选中的配送中心的需求量置 0;其次,对客户在各配送中心的需求量进行归一化处理,即各客户在某配送中心的需求量为 0~1 的实数,其在各配送中心的需求量之和为 1。在下层种群的遗传选择和变异的操作中,保持与上述个体编码方案的匹配。

2.3 层次遗传算法的实现步骤

利用层次遗传算法求解双层规划的配送中心选址模型的实施步骤如下:

- a) 根据上层规划决策变量的取值范围,对应上层规划的决策变量初始化一个种群 $X(Z_j, w_{jk})$,同时设定外层循环次数。
- b) 针对上层初始种群的每个个体,利用改进遗传算法求解下层规划问题。(a) 设定遗传代数为当前外层循环次数,同时设定下层遗传算法的个体数量;(b) 对下层遗传算法的种群施加个体编码,基于下层优化目标函数进行个体评价(同时根据约束条件的满足情况附加惩罚值)、选择操作、交叉操作以及变异操作;(c) 求得上层种群每个个体所对应的下层规划的最优解(对应于下层的决策变量)所组成的下层群体 $Y(x_{ij})$,将种群 Y 传递到上层作为上层遗传算法执行的基础。
- c) 针对下层种群的每个个体,利用改进遗传算法求解上层规划问题。(a) 设定遗传代数为当前外层循环次数,同时设定上层遗传算法的个体数量。(b) 对上层遗传算法的种群施加个体编码(采用十进制编码)、基于上层优化目标函数进行个体评价、选择操作、交叉操作以及变异操作。(c) 求得上层种群每个个体所对应的上层规划的最优解(对应于上层的决策变量)所组成的上层群体 X 。

d) 以上下两层的优化目标作为个体适应度评价依据,分别对种群中的个体进行适应度评价。由于每个个体涉及到两个优化目标,本文按多目标优化中的非支配关系对个体进行排序。解的最前端则是非支配解的集合,次前端则受制于最前端,依此类推。种群中的每个前端中的个体依据自身适应度或者所处前端等级进行排序。在此基础上给最前端的个体赋予适应度 1,次前端个体赋予适应度 2,依此类推。每个个体除了赋予适应度之外,还另外计算其拥挤距离,拥挤距离用于测度前端集合中个体之间的稠密程度,平均拥挤距离越大,种群的多样性越好。以个体的前端等级和拥挤距离为依据,使用二进制锦标赛选择算法选择前端等级低或者拥挤距离大的父代个体;再将前端集合中的个体与当前的子代个体进行非支配排序,同样依据前端等级和拥挤距离从中选择 N 个个体作为下一代种群的个体。

- e) 算法终止检查。本文根据外层循环是否达到最大迭代次数或者种群平均适应度变化幅度是否达到给定精度范围两个指标作为算法是否终止的条件。若满足,则前端集合中的个体为最优解的集合,最后再根据实际情况从前端集合中选择一个个体作为最后的选择方案。若二者都不满足,则返回到步骤 b) 继续执行。

3 算法仿真及性能评价

为了更好地测试算法的性能,本文所用测试案例是在文献[8]所使用的案例的基础上进行改进,主要是增加分销店的数量和工厂的数量,各分销店的需求量采用随机数。本文假定某公司在 a, b, c 三地各有一家分厂,商品由分厂先运至各地的配送中心,再由配送中心运至分销店,顾客在分销店购买商品。根据公司发展的需要,欲在 10 个候选地点选择至少一个地点建立配送中心,假定 600 个分销商的需求为小于 800 的随机数。其物流配送网络系统如图 2 所示。

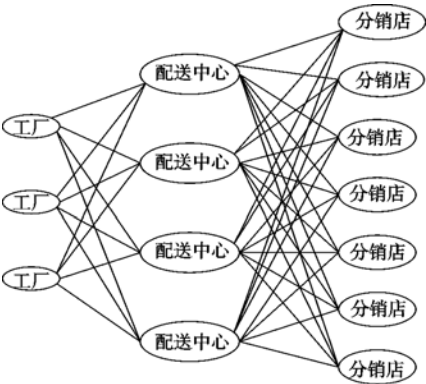


图2 物流配送网络系统

假定配送中心到分销商、工厂到配送中心的运输费率均为 1 单位重量/km,假定单个配送中心的处理能力约束为 150 000,单位处理费用为 1/单位重量,投资预算约束为 15 000 000,候选配送中心的建设及运营费用为 5 000 000,配送中心、工厂及分销店的位置在某个区域内随机产生。

本文运用双层规划模型来解决该公司的物流配送中心选址问题。其中上层规划是从决策者的角度出发,选择总费用最少的配送中心选址方案,以及各工厂到配送中心的商品调配方案;而下层规划则是反映各分销商在各配送中心之间分配需求量以使分销商的费用最低。层次遗传算法的迭代次数为 15,上下层进化种群数量为 150,上下层各自迭代次数为外层循环的当前循环次数。本文所有实验均在 Intel® Pentium Dual T2330 (1.6 GHz,内存 1 GB) 笔记本上运行,并以 MATLAB R2007A 为实验平台。由于本文的层次遗传算法的设计中采用了多目标非支配排序的思想,最后所得的最优解不唯一,即为类 Pareto 最优解前端集合。图 3 为本文算法所获得的类 Pareto 最优解前端集合。在具体决策时,可根据具体情况,从类 Pareto 最优解前端集合中选取一个解作为物流配送中心选址决策方案。

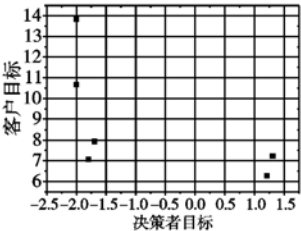


图3 HGA所获配送中心选址最优解前端集

差。用训练好的 BP 网络和小波神经网络对同样的 450 个测试样本进行测试,平均故障诊断正确率分别为 92.67%、97.5%。本文方法与 BP 神经网络和未经结构优化的小波神经网络的故障诊断性能对比如表 3 所示。

表 3 本文方法与 BP 网络、标准 WNN 的故障诊断性能比较

诊断方法	网络结构	训练目标	网络收敛步数	诊断正确率/%
BP 网络	6-15-8	0.005	7342	92.67
WNN	6-15-8	0.002	257	97.5
GA-WNN	6-10-8	0.001	86	98.89

从表 3 可知,在模拟电路故障诊断中,如果网络的结构相同,小波神经网络比 BP 网络在训练中更易于收敛且可达到更高的故障诊断精度。这是由于小波函数具有的时频局部性和多分辨性,使网络具有更强的逼近与容错能力,从而有效地提高了网络的收敛速度和降低误诊率。而用遗传算法优化小波神经网络,使故障诊断网络所用的隐层节点更少、结构更精简,而且训练的迭代次数比梯度下降算法更少,能够稳定地收敛于训练目标,具有更好的推广能力和更高的故障识别精度。通过对双二次电路的故障诊断结果证明,自适应遗传算法优化的小波神经网络在诊断效率和正确率方面具有更好的性能。

5 结 束 语

自适应遗传算法优化的小波神经网络,克服了梯度下降算法局部寻优的缺陷,通过优化隐层节点数和网络参数,使小波神经网络的结构得到简化,网络参数的数目大大减少。在模拟电路故障诊断中网络具有稳定的收敛性能和更好的推广能力,故障诊断精度和效率方面性能更优。仿真实验证明,自适应的 GA-WNN 在模拟电路故障诊断中可对故障进行准确的分类,取得满意的诊断效果,具有一定的实用价值。

(上接第 59 页)

传统的物流配送中心选址算法一般只能求得唯一的最优解,而且对选址模型中的目标函数的可微性和凸性有严格要求,只能解决一些特殊的物流配送中心选址问题。同时,与单纯应用多目标的方法解决物流配送中心的选址决策问题相比较,本文算法较好地兼顾了选址决策过程中各方的利益诉求,更好地适应实际决策过程的需求。从这个角度看,本文算法具有传统的求解方法所不具备的明显优势。

4 结 束 语

本文提出利用层次遗传算法来解决双层规划的物流配送中心选址问题。为了能真实体现决策各方的利益诉求对最终决策方案的影响,在进化迭代求解的过程中,下层群体中的个体与上层群体中的对应个体进行博弈,通过采用非合作的博弈策略达到决策方与客户双方利益的最大化,并通过测试算例证明了算法的有效性。由于算法本身的鲁棒性,对于解决大规模物流配送网络中的设施选址决策问题具有较大的实用价值,如针对不同的物流配送网络的选址决策,只需修改上下层的决策目标函数,直接应用本文所述算法就能满足实际选址决策的需要。今后如能进一步提高算法的计算效率以及在迭代求解中体现动态非对称博弈的思想,则算法能更好地满足实际决策的要求。总之,本文的物流配送中心选址策略能够有效地辅助决策物流系统分析和设计中关于配送中心的选址决策问题,对优化物流系统结构、提高物流系统运作效率具有积极意义。

参考文献:

[1] LITOVSKI V, ANDERJEVIC M, ZWOLINSKI M. Analogue electronic circuit diagnosis based on ANN[J]. *Microelectronics and Reliability*,2006,46(8):1382-1391.

[2] LI Ting-jun, JIANG Zhong-shan, ZHAO Xiu-li, *et al.* Fault diagnosis of analog circuit based on multi-layer neural networks[C]//Proc of the 8th International Conference on Electronic Measurement and Instruments. 2007;331-334.

[3] LIU Mei-rong, LI Yun. Research on fault diagnosis approach of analog circuit based on neural network[C]//Proc of International Workshop on Education Technology and Training & Geoscience and Remote Sensing. 2008;785-788.

[4] YIN Shi-rong. Application of BP neural network in analog circuits diagnosis [C]//Proc of International Conference on Computer Application and System Modeling. 2010; 40-43.

[5] SONG Guo-ming, WANG Hou-jun, LIU Hong, *et al.* Fault diagnosis of analog circuits based on wavelet neural network[C]//Proc of International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering and Science. 2006;803-807.

[6] 王承, 陈光祹, 谢永乐. 基于小波—神经网络的模拟电路 IDDT 故障诊断[J]. *仪器仪表学报*,2005,26(11):1106-1108.

[7] 谭阳红, 何怡刚. 模拟电路故障诊断的小波方法[J]. *电工技术学报*,2005,20(8):89-93.

[8] 杨凡, 赵建民. 一种改进的自适应遗传算法在指纹图像分割中的应用[J]. *计算机科学*, 2004,31(11):230-232.

[9] 刘才强, 时晨, 于伦正. 遗传算法在故障诊断中的应用研究[J]. *微电子学与计算机*, 2008, 25(2):97-99.

[10] 邓堰, 陈果. 转子故障信号的小波能量特征自动提取[J]. *应用科学学报*, 2007,25(5):510-515.

参考文献:

[1] BYRKA J,AARDAL K. An optimal bifactor approximation algorithm for the metric uncapacitated facility location problem [J]. *SIAM Journal on Computing*,2010,39(6):2212-2231.

[2] SVIRIDENKO M. An improved approximation algorithm for the metric uncapacitated facility location problem[C]//Proc of the 9th International Conference on Integer Programming and Combinatorial Optimization. Berlin;Springer,2006;240-257.

[3] FELLOWSA M R,FERNAU H. Facility location problems;a parameterized view[J]. *Discrete Applied Mathematics*,2011,159(11):1118-1130.

[4] 孙会军,高自友. 供应链分销系统双层优化模型[J]. *管理科学学报*,2003,6(3):66-70.

[5] TOHYAMA H,IDA K,MATSUEDA J. A genetic algorithm for the uncapacitated facility location problem [J]. *Electronics and Communications in Japan*,2011,94(5):47-54.

[6] WANG Yu-ping,JIAO Yong-chang,LI Hong. An evolutionary algorithm for solving nonlinear bilevel programming based on a new constraint-handling scheme[J]. *IEEE Trans on Systems,Man,and Cybernetics,Part C:Applications and Reviews*,2005,35(2):221-232.

[7] ANDREANI R,CASTRO S L C,CHELA J L, *et al.* An inexact-restoration method for nonlinear bilevel programming problems [J]. *Computational Optimization and Applications*,2009,43(3):307-328.

[8] 管小俊,王喜富,王翠华,等. 基于竞争的物流中心选址双层规划模型及算法研究[J]. *武汉理工大学学报:交通科学与工程版*, 2009,33(5):956-959.