

基于竞争环境的截流设施选址与车辆路径问题

王道平, 徐展, 杨岑

(北京科技大学 东凌经济管理学院, 北京 100083)

摘要: 研究竞争环境下截流设施选址与带时间窗的多中心车辆路径问题. 首先, 在考虑设施覆盖范围衰退的情况下, 利用阶梯型效用函数和偏离距离描述消费者的选择行为, 并确定截流设施的需求量; 然后, 采用基于聚集度的启发式算法对门店进行分类, 借助双层规划法, 建立门店选址与车辆路径安排的多目标整数规划模型; 最后, 采用改进的蚁群算法进行求解. 通过分析对比实验结果, 验证了模型的有效性和可行性.

关键词: 截流设施; 车辆路径; 竞争环境; 阶梯型效用函数; 双层规划

中图分类号: F270

文献标志码: A

Flow interception facility location and vehicle routing problem based on competitive conditions

WANG Dao-ping, XU Zhan, YANG Cen

(Dongling School of Economics and Management, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China. Correspondent: XU Zhan, E-mail: xuzhan321@126.com)

Abstract: The combined problem of flow interception facility location and multi-depot vehicle routing with time windows under competitive conditions is considered. Firstly, considering the decay cover of facilities and deviation distance from the given path, the spatial customer choice and the demands of flow interception facilities are described by using the step utility function. Then, after classifying facilities with the aggregation-based heuristic algorithm, the multi-objective integer programming model is established based on bi-level programming. Its upper planning targets at the maximum of market share, while the lower planning targets at the minimum cost of vehicle transportation. Finally, with the concept of greedy algorithm and Pareto optimization, objective values are obtained by means of the improved ant colony algorithm. Experiment results are analyzed and compared to verify the effectiveness and feasibility of the proposed method.

Keywords: flow interception facility; vehicle routing; competitive conditions; step utility function; bi-level programming

0 引言

随着竞争日益加剧, 各企业纷纷大量开设新的门店来抢占市场. 但是不同地理位置的门店对消费者的吸引力不同, 导致对竞争企业的市场份额和本企业其他门店的客流量产生影响. 特别是有些设施的需求主要通过截取过往的客流量产生, 所以针对此类问题需要采用截流设施选址(FIFL)进行研究. 另一方面, 配送中心作为企业物流活动的重要枢纽, 其位置决定了整个系统的有效性, 但是门店与配送中心的距离以及服务时间的限制直接影响着车辆路径的规划. 综上, 选址-路径问题(LRP)是物流管理研究的重要内容.

竞争选址模型最早由 Hotelling^[1]提出, 其假设消费者对服务设施的选择完全由两者之间的距离唯一

确定. Huff^[2]提出的引力模型则认为消费者接受某个设施服务的概率与两者之间的阻力成反比, 与设施的吸引力成正比, 其中吸引力包括设施容量、商品种类、商品价格和品牌效应等因素. Drezner^[3]在此基础上考虑了其他因素对消费者选择的影响, 引入了基于消费者行为的效用函数来定义设施的吸引力, 并认为消费者选择效用最大的设施接受服务. 此外, Drezner等^[4]考虑了设施服务范围逐渐覆盖问题, 即在覆盖半径内的需求可以完全满足, 而覆盖半径外的需求完全不满足, 并将其引入到竞争选址问题中. Berman等^[5]以此为基础, 提出了逐渐衰退覆盖模型, 并建立了线性和分段衰退函数. 范建华^[6]结合消费者的空间选择行为提出了阶梯型效用函数, 在此基础上研究了考

收稿日期: 2014-04-25; 修回日期: 2014-09-15.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71172169).

作者简介: 王道平(1964—), 男, 教授, 博士生导师, 从事供应链管理、知识管理等研究; 徐展(1991—), 男, 硕士生, 从事供应链管理的研究.

虑设施服务半径和衰退覆盖的竞争选址问题. 以上研究是将消费者区域简化为点来考虑, 但是有些设施的需求主要通过截取过往路径的流量产生. Berman等^[7]和Hodgson^[8]对此提出了截流选址模型, 并在消费者路径确定的情况下, 研究了截取流量最大的网络节点选址问题. Aboolian等^[9]在已有竞争设施的情况下, 结合引力模型建立了截流选址模型, 并采用线性近似算法进行求解. 胡丹丹等^[10]考虑了排队等待时间对选址的影响, 研究了竞争环境下拥塞设施截流选址问题.

国内外学者对于带时间窗的多中心车辆路径问题(MDVRPTW)也进行了深入研究. Mirabi等^[11]建立了以配送时间最小为目标的模型, 提出一种基于模拟退火思想的三步启发式算法进行求解. 王征等^[12]提出了一种改进的变邻域搜索算法求解该问题, 得到了较好的结果. LRP是选址与车辆路径安排的组合决策问题, 具有NP难性质, 所以研究学者大多采用启发式算法进行求解. Duhamel等^[13]采用贪婪随机自适应搜索过程和进化局部搜索的混合算法较好地解决了此类问题. 张潜等^[14]在考虑不同车型和路况的情况下, 建立了多目标规划模型, 提出了一种结合综合聚类分析法和改进遗传算法的两阶段优化算法进行求解.

目前, LRP方面的研究大多假设消费者区域为一个点, 但实际中不少设施的需求是通过截取过往路径流量得到的, 而且国内研究极少涉及截流设施选址与配送路径安排的组合决策问题. 此外, 众多竞争选址文献中采用引力模型作为消费者的效用函数, 较少考虑设施服务范围衰退覆盖的情况, 更没有在此基础上涉及偏离距离对消费者空间选择的影响. 因此, 本文针对竞争环境下的截流设施选址与带时间窗的多中心车辆路径安排问题, 采用先分类后优化的思路进行研究. 一方面, 考虑消费者接受服务时偏离原路径的距离, 并采用阶梯型效用函数反映设施服务范围逐渐衰退对消费者效用的影响; 另一方面, 采用基于聚集度的启发式算法对门店进行动态分类, 并通过双层规划法建立多目标数学模型, 最后利用改进的蚁群算法进行求解.

1 模型建立与求解

1.1 模型的假设与符号说明

假定某企业在一定区域内已有若干配送中心为门店服务, 在考虑与其他同类门店竞争的情况下, 选择新门店的最佳开设位置. 同时, 在满足门店服务时间和车辆承载能力的前提下, 选择配送中心为各门店供货, 并规划从配送中心到门店的车辆行驶路线.

为了建立模型, 提出以下假设:

1) 所有门店均提供同一种商品, 且完全满足消费者的需求;

2) 每个门店有且仅有一个配送中心和一辆车为其服务;

3) 如果门店未能在其规定的时间范围内接受服务, 则在总成本中增加惩罚成本;

4) 所有车辆的车型相同, 且只服务一条路线, 并最终回到出发点.

为了清楚地描述模型, 将有关参数定义如下:

x_{ghk} 表示车辆 k 是否从节点 g 行驶到节点 h , 若是则值为 1, 否则为 0;

y_j 表示是否开设门店 j , 若开设则值为 1, 否则为 0;

I 表示配送中心集合 $\{i|i = 1, 2, \dots, e\}$;

J 表示区域内已有门店集合 $\{j|j = 1, 2, \dots, f\}$;

M 表示已有设施中属于本企业的门店集合 $\{m|m = 1, 2, \dots, g\}$;

N 表示备选门店集合 $\{q|q = 1, 2, \dots, n\}$;

L_i 表示由配送中心 i 服务的门店集合 $\{s|s \in M \cup N, i \in I\}$;

K 表示车辆集合 $\{k|k = 1, 2, \dots, v\}$;

P 表示客流量非零的路径集合 $\{p|p = 1, 2, \dots, w\}$;

D_p 表示路径 p 上的需求量;

C 表示单位货物单位距离的运费;

C_E 表示在 T_{Ei} 之前到达门店而产生的单位时间机会成本;

C_L 表示在 T_{Li} 之后到达门店而产生的单位时间惩罚成本;

d_{gh} 表示门店 g 到门店 h 的距离;

T_{Ej} 表示门店 j 允许车辆到达的最早时间;

T_{Lj} 表示门店 j 允许车辆到达的最晚时间;

T_{kj} 表示车辆 k 到门店 j 的时间;

W_k 表示车辆 k 的容量;

R 表示门店开设数量.

1.2 模型的建立

由于门店选址与车辆路径安排属于不同层次的决策问题, 采用双层规划法建立模型. 通过确定上下两层的决策目标, 更好地求解该问题.

1.2.1 上层模型

上层模型用于描述企业从备选集合中选择指定数目的最优门店的决策活动, 其目标是使企业截取的总需求量 Z_1 最大, 即企业获得的市场份额最高. 传统的竞争设施选址通常先借助引力模型计算设施对消费者的效用值, 然后以企业利润最高或市场份额最大为目标建立模型, 且传统的引力模型认为设施对消费者的效用与该设施的吸引力成正比, 与两者间的距离

成反比. 但是, 实际中消费者可能会选择与既定路线有一定偏离距离的设施, 所以在截流选址中使用偏离距离表示两者间的距离更加合理^[10]. 路径 p 上消费者到门店 j 的偏离距离为

$$S_{pj} = d_{aj} - d_{ab} + \varepsilon, j \in J \cup N, p \in P. \quad (1)$$

其中: a 和 b 分别为路径 p 的起点和终点; d_{aj} 为门店 j 与路径起点 a 的距离; d_{ab} 为路径 p 的长度; ε 为控制参数, 防止效用无穷大, 且 ε 取值为任意正数, 对计算结果不构成影响^[15].

由于门店的服务范围具有逐渐衰退覆盖的性质, 门店对消费者的效用函数并不严格连续^[6]. 本文采用阶梯型效用函数来描述消费者的空间选择行为, 效用值越大, 消费者选择某一门店的概率便越大, 即该门店获得的市场份额越高. 门店 j 对路径 p 上消费者的阶梯型效用函数表示如下:

$$u_{pj} = \begin{cases} Q_j, & d_{aj} \leq l_j, l_j = r_j^1 < r_j^2 < \dots < r_j^{k+1} = r_j; \\ \frac{A_j^\alpha}{(r_j^{k+1})^{\beta_k} \times S_{pj}^\eta}, & d_{aj} \in (r_j^k, r_j^{k+1}]; \\ 0, & d_{aj} > r_j. \end{cases}$$

其中: Q_j 为门店 j 的效用最大值; A_j 为门店 j 的吸引力, 通常由企业管理者和专家组对门店的各项指标进行综合评分得到; d_{aj} 为门店 j 与路径起点 a 的距离; S_{pj} 为路径 p 上的消费者到门店 j 的偏离距离; l_j 为门店 j 的最小覆盖半径; r_j 为门店 j 的最大覆盖半径; k 为覆盖层次; r_j^k 为门店 j 在第 k 层的最大覆盖半径; β_k 为与覆盖层次 k 相关的控制参数, 与参数 α 和 η 共同控制分子和分母的相对重要程度.

根据上述阶梯型效用函数, 路径 p 上的消费者选择门店 j 的概率以及选择本企业所有门店的概率分别为

$$P_{pj} = \frac{u_{pj}}{\sum_{j \in N} u_{pj} y_j + \sum_{j \in J} u_{pj}}, p \in P; \quad (2)$$

$$P_p = \frac{\sum_{j \in N} u_{pj} y_j + \sum_{j \in M} u_{pj}}{\sum_{j \in N} u_{pj} y_j + \sum_{j \in J} u_{pj}}, p \in P. \quad (3)$$

因此, 上层模型可表示为

$$\max Z_1 = \sum_{p \in P} D_p P_p. \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \sum_{j \in N} y_j = R; \quad (5)$$

$$y_j = \{0, 1\}, j \in N. \quad (6)$$

其中: 式(4)为目标函数, 表示企业截取的总需求最大; 式(5)为约束条件, 表示备选门店开设数量的要求; 式(6)为对决策变量的约束.

1.2.2 下层模型

下层模型用于描述配送中心安排最优车辆路线的决策活动, 其目标是使物流系统下层总成本 Z_2 最小, 即配送中心到其服务范围内所有门店的运输成本和额外成本之和最小. 其中, 额外成本由两部分组成, 一部分是由于车辆在门店要求的最早服务时间前到达, 从而损失的机会成本; 另一部分是由于车辆在门店要求的最晚服务时间后到达, 从而产生的惩罚成本.

为了降低多中心路径问题的复杂程度, 采用基于聚集度的启发式算法对门店进行分类^[6], 将其转化为单中心路径问题. 常用的根据距离分类的方法准确性较差, 特别是对于带时间窗的问题, 会导致结果质量偏低. 所以, 本文在分类时考虑确定性和启发式两类信息.

1) 确定性信息 φ_{ij} 的计算方法如下:

$$\varphi_{ij} = \frac{\sum_{g, h \in L_i} \sigma_{gh}}{E_i \times d_{ij}}, i \in I, j \in M \cup N. \quad (7)$$

其中: d_{ij} 为配送中心 i 与门店 j 的距离; L_i 为由配送中心 i 供货的门店集合; E_i 为在配送中心 i 服务范围内的门店数量; σ_{gh} 为门店 g 与 h 的时间衔接性, 有

$$\sigma_{gh} = \begin{cases} 1, & T_{Eg} + T_{gh} < T_{Lg} \text{ 或 } T_{Eh} + T_{gh} < T_{Lh}; \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (8)$$

这里: $g, h \in M \cup N$, T_{Eg} 和 T_{Lg} 分别为门店 g 接受服务的最早和最晚时间; T_{Eh} 和 T_{Lh} 分别为门店 h 接受服务的最早和最晚时间; T_{gh} 为车辆在门店 g 与 h 间的行驶时间.

2) 启发式信息 ω_{ij} 的计算方法如下:

$$\omega_{ij}^{\text{new}} = \rho \omega_{ij}^{\text{old}} + \frac{N \times G}{\sum_{j \in M \cup N} \text{TL}_j}, i \in I, j \in M \cup N. \quad (9)$$

其中: ω_{ij}^{new} 和 ω_{ij}^{old} 分别为配送中心 i 与门店 j 更新前和更新后的启发式信息; ρ 为信息的保留程度; N 为备选门店的数量; TL_i 为在配送中心 i 服务范围内车辆路径的总长度; G 为控制参数, 用来控制分子的数量级, 防止分数值过大或过小. 因此, 门店 j 由配送中心 i 服务的概率 SP_{ij} 可以表示为

$$\text{SP}_{ij} = \frac{\omega_{ij}^\mu \times \phi_{ij}^\gamma}{\sum_{j \in M \cup N} (\omega_{ij}^\mu \times \phi_{ij}^\gamma)}, i \in I, j \in M \cup N. \quad (10)$$

其中: ω_{ij} 为启发式信息; φ_{ij} 为确定性信息; μ 和 γ 为控制参数, 用来控制两类信息的相对重要程度.

根据式(10), 门店 j 最终由 SP_{ij} 取最大值时所对应的配送中心为其供货. 按照上述方法分类门店, 并确定配送中心的服务范围, 下层模型可表示如下:

$$\begin{aligned} \min Z_2 = & C \sum_{k \in K} \sum_{h \in L_i} \sum_{g \in L_i} d_{gh} x_{ghk} + \\ & C_E \sum_{k \in K} \sum_{j \in M \cup N} \max(T_{Ej} - T_{kj}, 0) + \\ & C_L \sum_{k \in K} \sum_{j \in M \cup N} \max(T_{kj} - T_{Lj}, 0). \quad (11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{s.t. } & \sum_{k \in K} \sum_{g \in L_i} x_{ghk} = 1; \quad (12) \\ & \sum_{g, h \in L_i} \sum_{p \in P} D_p P_{pg} x_{ghk} \leq W_k, \quad i \in I, k \in K; \quad (13) \end{aligned}$$

$$\sum_{h \in L_i} x_{0hk} = 1; \quad (14)$$

$$\sum_{u \in L_i} x_{uhk} - \sum_{v \in L_i} x_{hvk} = 0; \quad (15)$$

$$\sum_{g \in L_i} x_{g0k} = 1; \quad (16)$$

$$x_{ghk} = \{0, 1\}, \quad g, h \in M \cup N, k \in K. \quad (17)$$

其中: 式(11)为目标函数, 表示下层总成本最小; 式(12)表示每个门店只能被服务一次; 式(13)表示车辆承载能力约束; 式(14)~(16)表示保证车辆从某一配送中心出发, 完成运送任务后返回配送中心, 且运送过程中没有重复路线; 式(17)表示对决策变量的约束。

1.3 模型的求解

截流选址问题具有 NP 难性质, 本文一方面借助贪婪算法的思想, 采用引入了交叉算子的蚁群算法进行求解; 另一方面, 根据 Pareto 优化概念, 利用快速非劣排序法求出非劣解集合^[17-18], 即通过随机选择和比较个体解, 选择处于占优的 Pareto 前沿个体. 如果两个解处于同一个 Pareto 前沿, 则选择拥挤程度较小的个体. 此外, 当任何一个目标有改进时, 都将当前的 Pareto 最优解保存下来, 以获得多样化的 Pareto 非劣解, 具体步骤概括如下。

Step 1: 根据式(1)计算每条路径上消费者到门店的偏离距离, 然后利用式(2)计算所有路径上备选门店截取的需求量, 并由大到小排序, 选择需求量最大的 R 个门店, 其中 R 为开设数量. 由式(3)计算得出各路径上消费者接受本企业所有门店服务的概率, 并通过式(4)计算得出企业的初始市场份额, 记为上层模型的最优值 $Best_u$.

Step 2: 根据 Step 1 所选门店进行下层模型优化, 一方面利用蚁群算法进行全局搜索; 另一方面通过引入交叉算子防止算法陷入局部最优, 提高优化质量. 具体方法如下。

Step 2.1: 编码方式. 在满足每个门店只被服务一次、车辆承载能力限制等约束下, 根据车辆行驶路线的顺序, 采用整数编码. 例如, 从配送中心 1 出发, 经过门店 5、7、3 和 8 的编码为 157381.

Step 2.2: 转移规则. 路线上的信息素浓度和期望

程度影响着下一个节点的选择, 即对于节点 i , 选择节点 j 的概率为

$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}^\lambda \times \eta_{ij}^\theta}{\sum_{h \notin \text{tabu}} (\tau_{ih}^\lambda \times \eta_{ih}^\theta)}, \quad h, i, j \in L_m. \quad (18)$$

其中: τ_{ij} 为路线 ij 上的信息素浓度; τ_{ih} 为路线 ih 上的信息素浓度; η_{ij} 为路线 ij 的期望程度; η_{ih} 为路线 ih 的期望程度; λ 和 θ 为启发式因子; tabu 为不可行点的集合。

Step 2.3: 交叉算子. 为了防止蚁群算法陷入局部最优, 引入交叉算子扩大解空间的搜索范围. 根据交叉率 P_m 从解决方案中选择路线, 对其随机位置进行单点交叉, 在去除不可行解后, 构造新的解决方案。

Step 2.4: 信息素的更新. 当算法完成一次循环后, 需要更新各条路线上的信息素浓度, 以寻找最优路线. 信息素通常采用以下方式进行更新: $\tau_{ij}^{\text{new}} = \rho \times \tau_{ij}^{\text{old}} + \sum_{k=1}^K \Delta \tau_{ij}^k$, $\rho \in (0, 1)$, $i, j \in L_m, m \in J$. 其中: τ_{ij}^{new} 和 τ_{ij}^{old} 分别为路线 ij 上更新前和更新后的信息素浓度; ρ 为信息素的保留程度; k 为蚂蚁序号; K 为蚂蚁总数; $\Delta \tau_{ij}^k$ 为第 k 只蚂蚁在路线 ij 上的信息素浓度增量, 有

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{S}{\sum_{m \in J} \text{TL}_m} \times \frac{d_{ij}}{\text{TL}_m}, & \text{第 } k \text{ 只蚂蚁经过路线 } ij; \\ 0, & \text{第 } k \text{ 只蚂蚁不经过路线 } ij. \end{cases}$$

这里: $i, j \in L_m$; S 为蚂蚁完成一次循环后释放的信息素总量; d_{ij} 为节点 i 与节点 j 的距离; TL_m 为在配送中心 m 服务范围内车辆路径的总长度。

Step 3: 将 Step 2 结果的目标函数值与下层模型历史最优值 $Best_d$ 进行比较, 若目标函数值小于 $Best_d$, 则更新 $Best_d$, 转至 Step 2 继续优化, 直至迭代次数 t 超过最大限制, 记录当前 $Best_u^t$ 和 $Best_d^t$ 的值。

Step 4: 在备选集合中按顺序选择截取需求量较大的门店替换已选的任一门店, 并重新计算企业的市场份额. 如果目标函数值大于 $Best_u$, 则转至 Step 1, 否则继续更新门店编号, 当迭代次数超过最大限制时停止计算, 输出实验结果。

2 算例分析

采用前文介绍的算法步骤, 结合经典的 MDVRPTW 实例和 FIFL 数据, 利用 Matlab 7.0 编程并进行实验. 本文随机产生 43 个节点和不少于 100 且不多于 300 条路径的网络, 其中 1~10 号节点表示备选门店, 11~25 号节点表示本企业已有门店, 26~40 号节点表示竞争对手门店, 41~43 号节点表示配送中心. 此外, 备选门店的吸引力和各路径的流量随机产生. 参数设置见表 1, 已有门店的吸引力情况见表 2.

表1 参数设置

μ	γ	ρ	G	S	λ	θ	P_m	ε
1	3	0.95	2000	1500	1	3	0.05	1

表2 已有门店吸引力值

编号	吸引力	编号	吸引力	编号	吸引力
11	600	21	450	31	470
12	450	22	480	32	510
13	500	23	580	33	660
14	510	24	540	34	300
15	600	25	450	35	280
16	450	26	480	36	350
17	500	27	580	37	480
18	510	28	540	38	410
19	350	29	650	39	560
20	350	30	650	40	570

表3 r_j 等于8时的实验结果

实验编号	开设数量	传统模型			本文模型		
		市场份额/%	运输总成本/万元	开设门店编号	市场份额/%	运输总成本/万元	开设门店编号
1~10	1	42	20	3	42	20	3
11~20	2	44	22	3、5	44	22	3、5
21~30	3	48	29	1、3、5	49	28	3、5、7
31~40	4	52	41	1、2、3、5	54	39	3、4、5、7
41~50	5	60	48	1、2、3、5、8	62	45	1、2、3、5、7
51~60	6	63	50	1、2、3、5、7、8	63	50	1、2、3、5、7、8
61~70	7	65	56	1、2、3、4、5、7、8	65	56	1、2、3、4、5、7、8

通过分析表3可以得出如下结论:

1) 随着开设数量的增加, 传统模型和本文模型的市场份额和运输总成本均有所增加, 但是在门店数量相同的情况下, 后者的市场份额明显高于前者, 且运输总成本低于前者.

2) 当开设数量较多或较少时, 传统模型和本文模型对于备选门店的选择没有差别. 这是因为各个门店的参数不同(如吸引力和最大覆盖半径等), 导致消费者的效用值产生了较大的差异. 所以, 在开设数量较少时, 对消费者效用值高的门店优先被选择; 在开设数量较多时, 对消费者效用值低的门店直接被淘汰.

3) 在开设数量等于3的约束下, 传统模型和本文模型分别选择了编号为1、3、5和3、5、7的门店. 因为当门店1和7的吸引力差别不大时, 虽然前者与消费者的距离小于后者, 但是其偏离距离大于后者, 导致其对消费者的效用值较低, 所以本文模型最终选择门店7.

由此可以说明, 考虑衰退覆盖和偏离距离的模型不仅能够更好地描述现实问题, 而且能够提高市场份额, 降低运输总成本, 满足了企业在选址与路径安排决策方面的要求.

通常, 最大覆盖半径由企业战略和市场实际情况决定. 为了分析最大覆盖半径 r_j 对市场份额和运输总成本的影响, 随机选择本企业的5个门店, 并对其 r_j 的取值情况进行多次实验. 限于篇幅, 仅给出 r_j 等于

为了验证上述模型的有效性和可行性, 将其与不考虑衰退覆盖和偏离距离、仅简单利用引力模型计算效用值的传统模型进行7组对比实验, 每组重复10次, 并保证同组同次对比实验中的路径条数相同. 开设数量为5时的结果如图1所示, 最大覆盖半径 r_j 等于8时的对比结果如表3所示.

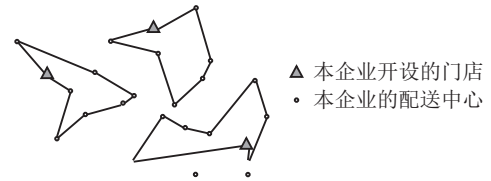


图1 r_j 等于8且开设数量等于5时的实验结果

3和15的实验结果, 如表4和表5所示.

表4 r_j 等于3时的结果

实验编号	开设数量	传统模型		本文模型	
		市场份额/%	运输总成本/万元	市场份额/%	运输总成本/万元
1~10	1	38	20	38	20
11~20	2	40	22	40	22
21~30	3	42	25	43	24
31~40	4	45	34	48	33
41~50	5	47	46	50	44
51~60	6	49	50	51	50
61~70	7	52	56	52	56

表5 r_j 等于15时的结果

实验编号	开设数量	传统模型		本文模型	
		市场份额/%	运输总成本/万元	市场份额/%	运输总成本/万元
1~10	1	42	20	42	20
11~20	2	44	22	45	22
21~30	3	52	25	55	23
31~40	4	57	35	60	34
41~50	5	61	46	63	45
51~60	6	64	50	65	50
61~70	7	67	56	68	56

对比表3~表5可以发现: 1) 最大覆盖半径 r_j 对运输总成本影响较小, 对市场份额的影响较大. 2) 当 r_j 较小时, 企业市场份额的增长率较低, 这是因为门店的服务范围缩小, 导致其对消费者的效用值降低, 从而使竞争对手占据了更多的市场份额. 3) 当 r_j 较大时, 虽然市场份额的增长速度较快, 但是出现了随

着门店的开设数量增加,市场份额不变甚至略有下降的情况,这是因为门店服务范围的重叠面积增大,造成了本企业门店在局部区域内激烈的竞争。

综上,企业在规划战略和确定消费者需求时,应当注意门店的有效最大覆盖半径。

3 结 论

选址-路径问题的研究在物流领域具有重要的理论价值和实际意义,由于门店选址与车辆路径安排属于不同层次的活动,两者的组合决策更加复杂. 本文研究了竞争环境下的截流设施选址与配送路径问题,不仅考虑了门店服务范围逐渐衰退覆盖的情况,而且利用阶梯型效用函数和偏离距离描述了消费者的空间选择行为,确定了截流设施的需求量. 通过基于聚集度的启发式算法对门店进行动态分类,将带时间窗的多中心路径优化问题简化为单中心路径问题. 在此基础上,采用双层规划法建立了多目标整数规划模型,并利用改进的蚁群算法进行求解. 所提出的模型不仅改进了以市场份额最高为目标的传统截流选址模型,同时将其与配送路径安排相结合,解决了企业在物流管理中的实际问题,对选址研究具有指导意义. 通过算例分析和比较,一方面证明了模型中考虑衰退覆盖和偏离距离的有效性和可行性;另一方面表明了最大覆盖半径对市场份额的影响. 但是,本文没有考虑动态需求和交通情况对截流设施选址和路径安排的影响,后续研究将关注这些问题的解决。

参考文献(References)

- [1] Hotelling. Stability in competition[J]. *J of Economic*, 1929, 39(153): 41-57.
- [2] Huff D L. A probabilistic analysis of shopping center trade areas[J]. *Land Economics*, 1963, 39(1): 81-90.
- [3] Drezner T. Locating a single new facility among existing unequally attractiveness facilities[J]. *J of Regional Science*, 1994, 34(2): 237-252.
- [4] Drezner Z, Wesolowsky G O, Drezner T. The gradual covering problem[J]. *Naval Research Logistics*, 2004, 51(6): 841-855.
- [5] Berman O, Drezner Z, Krass D, et al. The variable radius covering problem[J]. *European J of Operational Research*, 2009, 137(7): 516-525.
- [6] 范建华. 基于阶梯型衰退效用函数的竞争选址问题[J]. *管理学报*, 2009, 6(12): 1638-1642.
(Fan J H. The choice of competitive location for the chain-firm on the basis of step decay utility function[J]. *Chinese J of Management*, 2009, 6(12): 1638-1642.)
- [7] Berman O, Larson R C, Fouska N. Optimal location of discretionary service facilities[J]. *Transportation Science*, 1992, 26(3): 201-211.
- [8] Hodgson M J. A flow-capturing location-allocation model[J]. *Geographical Analysis*, 1990, 22(3): 270-279.
- [9] Aboulian R, Berman O, Krass D. Competitive facility location and design problem[J]. *European J of Operational Research*, 2007, 182(1): 40-62.
- [10] 胡丹丹, 杨超. 在竞争环境中的拥塞设施截流选址问题[J]. *系统工程理论与实践*, 2010, 30(1): 68-72.
(Hu D D, Yang C. Flow interception location problem of congestion facilities in competitive system[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2010, 30(1): 68-72.)
- [11] Mirabi M, Fatemi Ghomi S M T, Jolai F. Efficient stochastic hybrid heuristics for the multi-depot vehicle routing problem[J]. *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 2010, 26(6): 564-569.
- [12] 王征, 张俊, 王旭坪. 多车场带时间窗车辆路径问题的变邻域搜索算法[J]. *中国管理科学*, 2011, 19(2): 99-109.
(Wang Z, Zhang J, Wang X P. A modified variable neighborhood search algorithm for the multi depot vehicle routing problem with time windows[J]. *Chinese J of Management Science*, 2011, 19(2): 99-109.)
- [13] Christophe Duhamel, Philippe Lacomme, Christian Prins, et al. A GRASP×ELS approach for the capacitated location-routing problem[J]. *Computers and Operations Research*, 2010, 37(11): 1912-1923.
- [14] 张潜, 高立群, 胡祥培, 等. 物流配送路径多目标优化的聚类-改进遗传算法[J]. *控制与决策*, 2003, 18(4): 418-422.
(Zhang Q, Gao L Q, Hu X P, et al. Research on multi-objective vehicle routing problem of optimization based on clustering analysis and improved genetic algorithm[J]. *Control and Decision*, 2003, 18(4): 418-422.)
- [15] 申瑞玲, 霍佳震. 竞争环境下截流设施选址问题[J]. *运筹与管理*, 2013, 22(3): 97-101.
(Shen R L, Huo J Z. Flow-interception facility location problem under competitive conditions[J]. *Operations Research and Management Science*, 2013, 22(3): 97-101.)
- [16] 于滨, 靳鹏欢, 杨忠振. 两阶段启发式算法求解带时间窗的多中心车辆路径问题[J]. *系统工程理论与实践*, 2012, 32(8): 1793-1800.
(Yu B, Jin P H, Yang Z Z. Two-stage heuristic algorithm for multi-depot vehicle routing problem with time windows[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2012, 32(8): 1793-1800.)
- [17] Deb K, Pratap A, Agrawal S, et al. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm: NSGA-II[J]. *IEEE Trans on Evolutionary Computation*, 2002, 6(2): 182-197.
- [18] Zarrinpoor N, Seifbarghy M. A competitive location model to obtain a specific market share while ranking facilities by shorter travel time[J]. *Int J of Advanced Manufacturing Technology*, 2011, 55(5/6/7/8): 807-816.

(责任编辑: 郑晓蕾)