

基于 GIS 的最大覆盖双层选址问题研究 with 实现^①

王浩文^② 武楚雄 陈 驰 秦子豪 张贵军^③

(浙江工业大学信息工程学院 杭州 310023)

摘 要 最大覆盖选址问题在物流配送中具有重要的应用意义。为了充分考虑现有城市道路的网络特性,建立了基于地理信息系统(GIS)的最大覆盖双层选址分配模型。首先,该模型考虑实际路网的起始-目的地(OD)成本与多配送中心协同供给资源的可能性,在选择配送中心的位置使覆盖的总需求量最大化的同时保证较低的运输分配成本;其次,为了确定配送中心选址的位置及各个需求点分配到的物资比例,利用精英保留策略的免疫遗传算法进行选址-分配的优化,并以杭州市某区为实例验证了所提方法的有效性;最后,实现了融合 GIS 技术与优化算法的选址系统。

关键词 免疫遗传算法;配送中心选址;运输分配;地理信息系统(GIS);最大覆盖

0 引 言

随着市场经济的发展,物流配送中心的选址已经成为企业自身发展中重要的长期决策之一,选址的好坏直接影响到服务的效率及成本,从而影响到利润和市场竞争能力。因此对于物流中心选址问题的研究具有现实意义。

最大覆盖选址模型^[1-5]是较为重要的选址问题,覆盖模型适用于商业物流选址系统和公用事业系统,该问题属于 NP-Hard 问题,随着问题规模的增大,精确算法的求解运行时间快速增长。一般解决该问题有两大类方法,第一类是通过精确性算法,如 0-1 整数规划、动态规划等算法进行求解,但该类方法未能很好地结合现实生活中的诸多因素,难以有效模拟解决不确定的问题;第二类算法是启发式算法,也是最常用的方法,包括免疫算法^[6]、蚁群算法^[7]、粒子群算法^[8]、遗传算法^[9]等,这些算法在解决实际问题时具有显著的效果。

在近几十年,国内外学者对物流配送中心选址

问题进行了广泛而深入的研究。文献[10]提出了运用局部细化的遗传算法求解最大覆盖问题。文献[11]提出了基于多尺度网格模型的物流配送中心选址候选集构建方法。文献[12]对竞争市场新进企业的容量设施选址做了研究。

传统的最大覆盖选址模型需要在配送中心候选点中选择确定数目的配送中心点,使配送中心覆盖的客户点需求量最大,且一个客户点只能由一个配送中心配送^[13],这种选址模型没有考虑到协同供给资源的可能性。同时,传统的最大覆盖选址模型在网络代价上大多直接采用欧氏距离进行计算,没有考虑到实际路网的拓扑属性。这种传统的最大覆盖选址模型在实际交通网络环境中并不适用,局限性较多,如资源的分配与利用效率低下、容易造成较多的成本损失等。本文利用地理信息系统(geographic information system, GIS)通过建立实际路网的网络模型将交通路网抽象为网络^[14-15],在考虑了多配送中心协同供给资源的可能性后^[16],建立了基于实际路网网络的最大覆盖选址模型,有较好的现实应用意义。

① 国家重点研发计划(2019YFE0126100),国家自然科学基金(61573317)和浙江省教育厅一般科研项目(Y201840644)资助。

② 男,1993 年生,硕士生;研究方向:智能信息处理,优化理论及算法设计,生物信息学;E-mail: wanghw@zjut.edu.cn

③ 通信作者,E-mail: zgj@zjut.edu.cn
(收稿日期:2020-01-23)

1 数学模型

1.1 模型的基本假设

基于 GIS 的最大覆盖双层选址模型的假设条件如下。

- (1) 已知候选的配送中心点位置和数目；
- (2) 已知要选中的配送中心的数目；
- (3) 已知需求点的数目、需求量和位置；
- (4) 覆盖半径由空间可达性确定,覆盖状态的取值区间是 $[0,1]$ ；
- (5) 决策层的优化目标是选择确定数目的配送中心使得其覆盖的总需求量最大；
- (6) 客户层的优化目标是物流分配成本最低。

在上述假设中,需求点的位置及数目、候选的配送中心的位置及数目通过 GIS 分析实际交通路网数据后得到;给定网络 $G(C, V, P, A, W)$,配送中心和需求点都分布在网络结点上,边权由 GIS 网络分析得到。

1.2 符号定义与模型构建

本文构建了基于 GIS 的最大覆盖双层选址模型,其中,决策层模型解决了配送中心的选址问题,客户层模型解决了配送资源分配问题。该模型既考虑了决策层的优化目标又考虑了客户层的优化目标,在满足决策层的要求后,进一步地将客户层的目标成本降到最低,具有较好的现实应用意义。在文献[16]的基础上,构建基于 GIS 的最大覆盖双层选址模型构建如下。

决策层模型:

$$\max F_1 = \sum_i \sum_j r_{ij} q_i Z_j \tag{1}$$

客户层模型:

$$\min F_2 = \sum_i \sum_j c_{ij} r_{ij} q_i Z_j \tag{2}$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_j Z_j = p, \quad \forall j \in J \tag{3}$$

$$Z_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \tag{4}$$

$$0 \leq r_{ij} \leq 1, \quad \forall i \in I, j \in J \tag{5}$$

$$\sum_j r_{ij} Z_j \leq 1, \quad \forall i \in I, j \in J \tag{6}$$

$$\sum_i r_{ij} q_i \leq M_j, \quad \forall i \in I, j \in J \tag{7}$$

I : 需求点集合;

J : 候选配送中心集合;

q_i : 需求点 i 的需求量;

P : 准备建站的个数;

r_{ij} : 配送中心 j 对客户 i 的需求量的覆盖比例;

c_{ij} : 结点 i 到结点 j 的运输成本;

M_j : 第 j 个配送中心的库存量。

其中,目标函数式(1)表明决策层的优化目标为要覆盖的需求量最大;目标函数式(2)表明客户层的优化目标为资源分配的成本最小;约束条件式(3)表明建立的配送中心的个数是 p 个;约束条件式(4)是对决策变量的约束,表明是否在 j 处建站;约束条件式(5)是对决策变量的约束,表明该配送中心 j 向需求点 i 的覆盖比例;约束条件式(6)表明每个需求点的需求量不要求完全覆盖;约束条件式(7)表明每个配送中心向外配送的资源量为其库存量。

2 最大覆盖双层选址问题的求解算法

2.1 免疫遗传算法

免疫遗传算法具有免疫记忆功能与多样性保持机制,有助于克服一般寻优过程尤其是多峰函数寻优过程中较难处理的“早熟”问题,提高全局搜索效率,最终求得全局最优解^[6]。

2.2 配送中心的选址-分配算法设计

2.2.1 决策层模型的求解算法设计

(1) 初始抗体群的产生

编码设计采用二进制 0-1 编码,染色体长度为候选中心的数目,第 i 个基因位的值为 1,表示在第 i 个点建站;如果第 i 个点基因位的值为 0,则表示不在第 i 点建站。但是由于基于最大覆盖的选址配送模型对选中的配送中心数目有明确的限制,所以在随机生成的初始染色体中对 1 的个数明确限定。如选中的配送中心的数目是 3,那么生成的染色体编码中 1 的个数只能为 3。如有 10 个候选配送中心,要选择 3 个进行建站,分别是 2、3 和 7,编码为 $[0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0]$,这种编码方式能够满足约束条件。

(2) 亲和度计算

由于产生于确定克隆类型的抗体分子独特型是一样的,抗原抗体的亲和力也是抗体之间亲和力的测量^[17-18]。可采用下式计算亲和力:

$$ay_{v,w} = \frac{1}{1 + H_{v,w}} \quad (8)$$

其中, $H_{v,w} = \frac{1}{n+1}$, n 为抗体 v 和抗体 w 相同的基因个数。

1) 抗体与抗原亲和力

为了使得最终的选址方案能够在实际路网的各个需求点上取得最大覆盖度,结合实际路网的网络特征,将抗体与抗原之间的亲和度定义为 $A_v = \sum_i \sum_j r_{ij} q_{ij} Z_j$, 即采用决策层的目标函数作为抗体与抗原之间的亲和度。

2) 抗体与抗体亲和力 $S_{v,s}$ 的计算

采用海明空间的海明距离表示抗体与抗体之间的亲和力 $S_{v,s} = \frac{k_{v,s}}{L}$, k 为抗体 v 与抗体 s 中相同的位数, L 为抗体的长度, 例如, 两个抗体为 $[1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1]$ 和 $[1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1]$, 有 3 个值相同, 亲和度为 0.5。

(3) 抗体浓度计算

为了评价选址方案的多样性, 有必要对选址方案的个体进行多样性的评价, 采用抗体浓度 $C_v = \frac{1}{N} \sum_{i \in N} S_{v,i}$ 进行计算达到对搜索空间中的解进行评价

的目的。其中, $S_{v,i} = \begin{cases} 1 & S_{v,i} > T \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$, T 为预先给定的

的阈值。

(4) 免疫操作

1) 选择。为了淘汰适应度低的个体, 采用轮盘赌机制来进行个体的选择, 在转轮盘的过程中, 具有较大适应度的个体有较大的概率被选择, 即为计算出的期望繁殖概率 P , 公式为

$$P = \alpha \frac{A_v}{\sum A_v} + (1 - \alpha) \frac{C_v}{\sum C_v} \quad (9)$$

2) 交叉。采用单点交叉法进行交叉操作, 在染色体编码中只随机挑出一个交叉点, 然后在该点交换两个配对父代的染色体;

3) 变异。采用随机选择变异位的方法进行变

异。

(5) 引入精英保留策略

在每次更新记忆库时, 先将与抗原亲和度最高的 s 个个体存入记忆库, 再按照期望繁殖概率 P 将剩余群体中的抗体按与抗原的亲和度降序排列, 取前 $m - s$ 个抗体存入记忆库, m 为记忆库的大小。

2.2.2 客户层模型的求解算法设计

在决策层规划中, 解决了如何在候选配送中心中选择合适配送中心的问题, 而客户层的目标为确定分配方案使得物流分配成本 $\sum_i \sum_j c_{ij} r_{ij} q_{ij} Z_j$ 最小。在决策层确定了配送中心的情况下, 求解使目标函数 $\sum_i \sum_j c_{ij} r_{ij} q_{ij} Z_j$ 最小的 r_{ij} 是一个线性规划问题, 因此模型的求解可以通过 Matlab 中的 `linprog(f, A, b, Aeq, beq, lb, ub)` 进行计算。

2.2.3 选址-分配算法流程

步骤 1 按照规定的编码规则随机生成免疫算法中的初始抗体群, 将初始抗体群规模设定为 M 个。

步骤 2 将生成的 M 个抗体对应的选址结构映射到客户层模型中去, 对应的客户层模型的变量参数是 Z_j 。

步骤 3 对应决策层模型传递过来的选址结构, 通过 `linprog(f, A, b, Aeq, beq, lb, ub)` 求解得到 r_{ij} 。

步骤 4 将得到的 M 个最优值返回到决策层模型中, 这个值映射到决策层模型中的参数变量是 r_{ij} , 即得到的 M 个最优值是在已知配送中心位置和数量的情况下最优的需求量分配。

步骤 5 根据返回值分别计算抗体的亲和度函数 $\sum_i \sum_j r_{ij} q_{ij} Z_j$ 。

步骤 6 将初始种群按照期望繁殖率 P 进行降序排列, 并取前 N 个个体构成父代群体, 同时取前 m 个个体存入记忆库中。

步骤 7 保留精英: 更新记忆库时, 先将与抗原亲和度最高的 s 个个体存入记忆库, 再按照期望繁殖概率将剩余群体中 $m - s$ 个优秀个体存入记忆库。

步骤 8 根据亲和度值进行选择操作, 其中选择操作的策略是轮盘赌。

- 步骤 9 交叉:用单点交叉法进行交叉操作。
- 步骤 10 变异:用随机选择变异位的方法进行变异。
- 步骤 11 算法结束,输出具有最优亲和度的抗体编码,得到问题的解。

3 应用案例分析

本文基于 GIS 和免疫算法的配送中心选址,并根据杭州市某区实际路网数据,要从 6 个候选配送中心选择建立 3 家物流配送中心,以满足该区内 40 个客户点的配送要求,并且保证资源分配成本最低,覆盖需求量最大。

3.1 网络模型

3.1.1 网络模型属性

基于 GIS 的最大覆盖的选址网络模型可以用一个有向带权图来描述,如图 1 所示。其数据结构不但包含路径距离,网络客户结点编号,而且还包含了单双行、道路阻抗和转向耗费等地理属性特征。

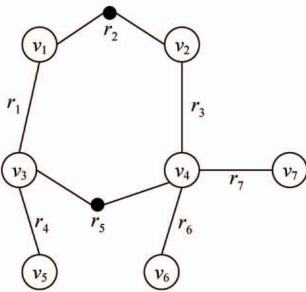


图 1 有向带权图

本文构建的基于 GIS 的实际路网网络模型由弧段集合 E 和路径交点集合 V ,网络配送客户点集合 C ,点权集合 P ,路权集合 W 构成。整个 GIS 道路网络模型 $G(C, V, P, A, W)$ 构建如下。

- 1) 如图 1 所示的有向带权图 G 表示城市道路网络模型, $C = \{c_i \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ 主要是记录客户点的 OBJECTID *、客户点经纬度坐标 X 和 Y 。
- 2) $V = \{v_i \mid i = 1, 2, \dots, n\}$ 用来记录道路交点的 OBJECTID *、每个结点的经纬度坐标 X 和 Y 。
- 3) $A = \{r(i, j) \mid i, j = 1, 2, \dots, n, \text{ 且 } i \neq j\}$ 用来记录道路路段的各项属性,在该式中, $r(i, j) = \{ \langle v, v_j \rangle, w \langle v_i, v_j \rangle, r_{ij}, o_{ij}s_{ij} \mid i, j = 1, 2, \dots,$

$n\}$ 记录了路段方向 $direction$,路段权重值 $OD \ cost$,交通规则 r_{ij} ,路障路段 $barrier$ 等属性。

4) $W = \{w(i, j) \mid i, j = 1, 2, \dots, n\}$ 记录边权的权值 $w(i, j) > 0$,表示从节点 v_i 移动到节点 v_j 的成本,其与在实际道路路段上行驶的耗费与路段实际长度、阻塞情况、路段的通行能力等交通状况有密切关系。

5) $P = \{d(m, i, n) \mid i = 1, 2, \dots, n, \text{ 且 } m, n \in E\}$ 记录节点权 P , $d(m, i, n)$ 表示由路段 m 经过节点 i 转向路段 n 的通行成本,若 $d(m, i, n) = + \infty$,表示禁止从路段 m 经过。

6) 有序节点对 $\langle v_i, v_j \rangle$ 记录路段方向, $\langle v_i, v_j \rangle$ 表示此时路段由交点 v_i 到交点 v_j 为正方向, $\langle v_j, v_i \rangle$ 表示交点 v_j 到 v_i 为正方向。

7) 交通规则 r_{ij} 编码为集合 $\{0, 1, 2, 3\}$, $r_{ij} \in \{0, 1, 2, 3\}$ 表征若 $r_{ij} = 0$ 表示路段双向禁行, $r_{ij} = 1$ 表示路段正向单行, $r_{ij} = 2$ 表示路段逆向单行, $r_{ij} = 3$ 表示路段双向通行;在 GIS 网络拓扑处理时已规定好每一路段的正方向,在设置路段交通规则时应注意考虑路段正方向。

3.1.2 路网网络模型构建

本文对杭州市道路交通网进行空间矢量化,为了便于从杭州市地图中提取城市道路网的网络拓扑结构,在道路层的属性数据表结构文件中定义路段的属性信息字段,道路层的数据结构如表 1 所示。

表 1 道路层数据结构表

字段名称	数据类型	备注
OBJECTID	Object ID	系统生成道路边线的编号
Shape	Geometry	道路边线的几何类型为线性
Id	Long Integer	自定义的道路边线的编号
Name	Text	道路边线的名称
Speed	Short Integer	道路的限速
Minutes	Double	行驶各段道路所需的时间
Length	Double	各段道路边线的长度
Oneway	Text	道路单行线的限制

3.1.3 OD 成本矩阵分析

起始-目的地 (origin-destination, OD) 成本矩阵用于查找和测量网络中从多个起始点到多个目的地的最小成本路径。在杭州市某区的矢量数据中,以

6 个待选的物流配送中心作为起始点,编号为 {A, B,C,D,E,F},40 个客户点作为目的点,编号为 {1, 2,3,4,5,6,7,8,⋯,38,39,40}。通过 GIS 分析功能得到配送中心和需求点之间的 OD 成本矩阵,输出的类型被设置为生成直线。OD 成本矩阵求解不输出沿道路网络的线,但是存储在线属性表中的值反映的是各节点之间的网络距离。如图 2 所示为 OD 成本矩阵分析结果图,可以通过该分析结果来查找各个候选配送中心到不同客户点所需的距离成本。

3.2 选址-分配分析

本文通过调研杭州市某区物流配送中心实际配送的供需情况,分析得到各个客户点的需求量;利用 GIS 的分析功能得到该区实际路网的 OD 成本矩阵,通过计算得到各个配送中心到客户点的运输成本,具体结果如表 2 所示。

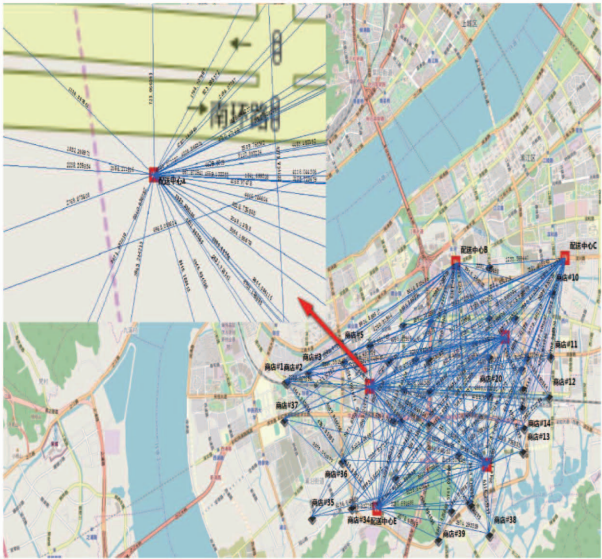


图 2 OD 成本矩阵分析结果图

表 2 资源分配成本表

商店编号	配送中心 A /元/kg	配送中心 B /元/kg	配送中心 C /元/kg	配送中心 D /元/kg	配送中心 E /元/kg	配送中心 F /元/kg	需求量/kg
1	4.470	11.661	10.968	9.869	6.528	15.305	647
2	4.370	11.563	10.869	9.782	6.440	15.212	521
3	3.287	10.407	9.899	8.619	5.947	14.038	588
4	1.646	8.525	8.312	6.808	5.374	12.157	653
5	1.445	7.122	7.399	5.344	5.652	10.686	772
6	2.755	5.410	6.556	3.529	6.495	8.830	1020
7	3.907	3.984	5.796	2.380	7.067	7.395	960
8	6.664	1.124	5.088	2.497	8.812	4.502	725
9	7.959	0.863	5.306	3.559	9.781	3.326	568
10	10.053	2.877	6.856	5.067	11.798	1.355	641
11	9.487	2.413	5.006	5.832	10.475	3.436	561
12	9.335	3.002	3.998	6.612	9.766	4.803	678
13	8.258	7.254	6.987	3.989	7.849	1.908	789
14	8.135	3.129	2.322	6.597	8.160	6.178	1032
15	7.970	5.582	5.985	2.521	8.348	2.740	963
16	7.959	1.928	3.236	5.474	8.657	4.989	589
17	7.935	1.320	3.793	4.925	8.963	4.420	986
18	8.267	1.306	4.244	4.894	9.404	3.965	785
19	6.310	3.614	3.736	1.090	7.856	5.242	796
20	6.209	4.766	2.468	2.116	7.059	6.144	1010
21	5.120	4.710	1.584	6.528	4.626	8.766	583
22	5.969	6.588	10.531	8.475	3.846	2.445	513
23	6.474	5.928	1.546	8.172	4.8027	9.743	636
24	6.624	6.012	1.589	8.301	4.893	9.794	592

续表 2

25	3.228	4.087	4.784	3.556	5.854	7.944	793
26	2.552	4.797	5.262	3.916	5.490	8.602	578
27	1.308	6.218	6.322	4.901	5.147	9.950	698
28	1.734	5.641	5.115	5.125	4.361	9.609	724
29	3.081	4.402	3.988	4.582	4.907	8.407	841
30	3.274	4.994	3.410	5.658	4.000	9.140	755
31	1.958	6.195	4.782	6.136	3.287	10.281	936
32	1.625	6.557	5.182	6.357	3.176	10.621	513
33	3.394	7.537	4.853	8.026	1.427	11.692	524
34	4.232	9.969	7.262	10.023	1.377	14.112	475
35	5.424	11.895	9.393	11.566	3.455	16.007	487
36	2.941	9.580	7.619	9.070	2.503	13.642	682
37	4.671	11.969	10.764	10.537	5.783	15.782	517
38	7.998	6.801	10.178	9.437	5.899	2.358	524
39	6.301	7.784	11.739	9.516	3.322	3.621	423
40	7.494	2.612	6.851	1.700	10.508	4.022	991

构建的杭州市某区网络模型如图 3 所示,道路数目为 2688 条,创建的节点数目为 1844 个。图中带有仓储标志的为物流配送中心候选点节点,带有商店标志的为客户点节点。

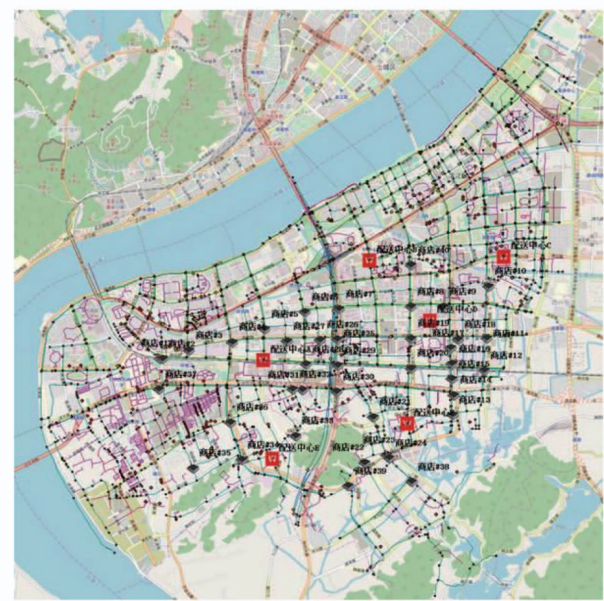


图 3 网络模型图

3.3 算法参数说明

为了验证上述所提算法的有效性,实验测试平台在双核 CPU (I5-3450M)、主频 2.4 GHz、4 GB 内存笔记本上进行;操作系统 Windows8.1 专业版,基于

Matlab 编程进行相关的算法实验。算法代码采用 Matlab R2014 编写。算法参数依次设置为:算法的迭代次数为 120 次;交叉概率为 0.8;变异概率为 0.07;给定的阈值 $T=0.7$;期望繁殖概率的参数 $\alpha=0.95$;与抗原亲和度最高的个体数 $s=6$;记忆库的大小 $m=15$ 。

在建立杭州市某区路网网络模型后,通过杭州市实际路网求解出 OD 成本矩阵,从而可以计算出表 2 所示的候选的 6 个配送中心分别到 40 个需求点的实际路网的网络耗费。

将 OD 成本与表 2 所示的实际路网的网络耗费作为算法的输入数据,通过本文提出的算法,经过最大迭代次数 120 次后得到如表 3 所示的最优选址-分配方案。

表 3 所示方案是利用本文提出的算法并基于杭州市某区的实际网络拓扑数据在 6 个候选配送中心中选择了配送中心 A、配送中心 D、配送中心 F 作为优化后的 3 个配送中心,所有需求点都得到了资源的分配,覆盖率 84.42%,最小成本为 90 012.68 元。可以看到,为了在减小成本同时满足尽可能多的客户点需求,在配送中心与客户点之间的资源分配上形成了“多对多”的分配映射关系,这种“多对多”的分配映射关系不但可以有效地满足多个客户点的实际需求,还可以有效降低分配成本。需求点 6、7 都

分别由 2 个配送中心 A、D 进行资源分配;需求点 12、13、14、15、16、17、18 由配送中心 D、配送中心 F 进行分配;需求点 19、20、21、23、24、25、26、27、28、31 都分别由 2 个不同的配送中心进行配送;同时,

与配送中心 A、配送中心 D、配送中心 F 的网络阻抗相对较小的需求点 29、30 分别由 3 个配送中心进行资源分配;可以从图 5 所示的最优选址-分配映射图上看出这种分配映射关系的合理性。

表 3 最优选址-分配方案

客户点	配送中心 A	配送中心 D	配送中心 F	客户点	配送中心 A	配送中心 D	配送中心 F
商店#1	1	0	0	商店#21	0.545	0	0.455
商店#2	1	0	0	商店#22	0	0	1
商店#3	1	0	0	商店#23	0.432	0	0.368
商店#4	1	0	0	商店#24	0.457	0	0.543
商店#5	1	0	0	商店#25	0.253	0.447	0
商店#6	0.245	0.355	0	商店#26	0.409	0.091	0
商店#7	0.332	0.168	0	商店#27	0.356	0.244	0
商店#8	0	1	0	商店#28	0.316	0.384	0
商店#9	0	1	0	商店#29	0.228	0.356	0.416
商店#10	0	1	0	商店#30	0.316	0.245	0.139
商店#11	0	1	0	商店#31	0.287	0	0.213
商店#12	0	0.299	0.201	商店#32	1	0	0
商店#13	0	0.521	0.270	商店#33	1	0	0
商店#14	0	0.217	0.183	商店#34	1	0	0
商店#15	0	0.332	0.368	商店#35	1	0	0
商店#16	0	0.424	0.376	商店#36	1	0	0
商店#17	0	0.542	0.458	商店#37	1	0	0
商店#18	0	0.325	0.175	商店#38	0	0	1
商店#19	0.334	0.664	0	商店#39	0	0	1
商店#20	0.176	0.424	0	商店#40	0	1	0

3.4 结果分析

本文基于 ArcGIS API + PostgreSQL + ReactJS 开发了杭州市物流中心选址配送系统。系统针对物流配送中心选址的特点,将 GIS 技术与免疫算法结合,实现了选址的可视化。为了便于最终的人工选择,运行基于免疫算法的物流资源选址-分配模块后,系统提供了多种方案,图 4 所示为系统界面图。

图 5 所示为物流中心选址配送系统分析的最优选址-分配映射结果,从图中可以得到配送中心 A、D、F 与各个客户点之间的映射关系。由映射结果图可以进一步得到配送中心 A、D、F 协同分配各个客户点的具体路线图,如图 6 所示。

本文针对实际问题所构建的基于 GIS 的最大覆盖双层选址模型的优化目标是保证客户层模型中物

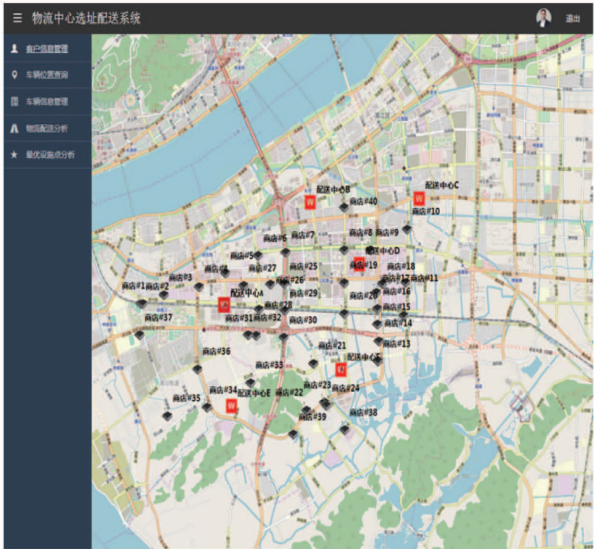


图 4 系统界面图

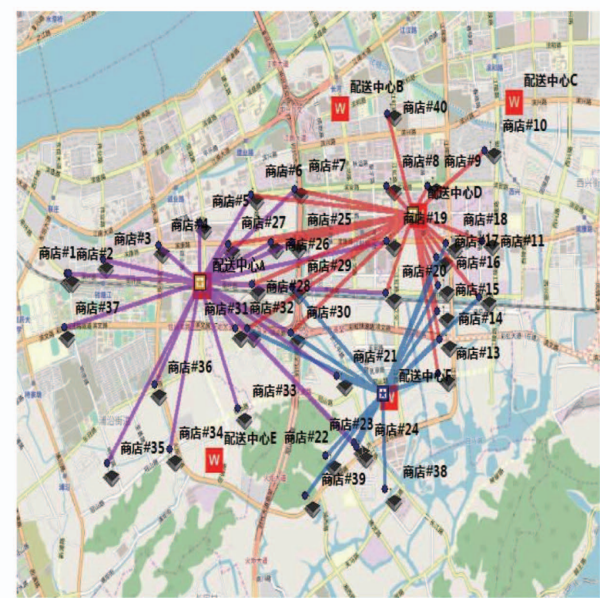


图 5 最优选址-分配映射图



图 6 最优选址-分配方案

流分配成本达到最低的情况下,使得决策层的模型获得尽可能大的覆盖率。通过对不同分配模式结果进行对比,由图 5 和表 3 分析,在选址结果为 A、D、F 物流配送中心时,此时结果显示需求覆盖比例为 84.42%,配送成本为 90 012.68 元,该方案下需求的覆盖率较大,成本相对较低;次优结果 1 分析可知,覆盖比例相较于最优结果覆盖比例较低,配送成本较高;次优结果 2 覆盖比例为 84.98%,较最优结果覆盖比例大,但配送成本偏高;次优结果 3 表明覆盖比例较低且配送成本较低。对以上结果综合分

析,选择覆盖比例较大且配送成本较低的 A、D、F 配送中心为最优选址-分配方案,具体结果对比如表 4 所示。

表 4 结果对比

方案	选址结果	覆盖比例/%	配送成本/元
最优结果	A,D,F	84.42	90 012.68
次优结果 1	A,B,C	80.56	93 271.76
次优结果 2	A,E,F	84.98	93 131.52
次优结果 3	B,C,E	76.34	88 547.33

4 结 论

本文针对具有较大规模的物流中心选址问题进行研究。建立了融合道路等级权值、单行限制、运输损耗费用并考虑了协同分配的最大覆盖双层选址模型,使建立的模型尽可能贴近配送中心选址-分配实际情况。在算法上引入了免疫算法,该算法结合 GIS 分析技术可以很好地确定实际道路通行成本、运输成本最低时拥有最大覆盖率的物流配送中心的位置。设计并开发了以杭州市路网矢量数据为基础图层的物流中心选址配送系统,依托实际路网矢量数据,结合实际需求,较好地解决了传统选址过程结果精确度不高、实用性不强的问题。

参考文献

[1] Church R, Revelle C. The maximal covering location problem[J]. *Papers of the Regional Science Association*, 1974, 32(1): 101-118

[2] Church R L, Revelle C S. Theoretical and computational links between the p-median, location set-covering, and the maximal covering location problem[J]. *Geographical Analysis*, 2010, 8(4): 406-415

[3] Revelle C S, Swain R W. Central facilities location[J]. *Geographical Analysis*, 2010, 2(1): 30-42

[4] Revelle C. Central facilities location under an investment constraint[J]. *Geographical Analysis*, 2010, 2(4): 343-360

[5] Curry G L, Skeith R W. A dynamic programming algorithm for facility location and allocation[J]. *American Institute of Industrial Engineers Transactions*, 1969(1):

133-138

- [6] 赵韩,高先圣,姜康,等. 基于免疫遗传算法的多目标柔性作业车间调度研究[J]. 系统仿真学报,2008, 20(22):6163-6168
- [7] Zhang Z F, Wang T, Chen Y, et al. Design and application of type-2 fuzzy logic system based on improved ant colony algorithm [J]. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 2018, 40(16):4444-4454
- [8] Zhang Y, Gong D W, Hu Y, et al. Feature selection algorithm based on bare bones particle swarm optimization [J]. *Neurocomputing*, 2015,148(1): 150-157
- [9] Lotfi M M, Tavakkoli-Moghaddam R. A genetic algorithm using priority based encoding with new operators for fixed charge transportation problems[J]. *Applied Soft Computing*, 2013,13(5):2711-2726
- [10] Atta S, Mahapatra P R S, Mukhopadhyay A. Solving maximal covering location problem using genetic algorithm with local refinement[J]. *Soft Computing*, 2018, 22(12): 3891-3906
- [11] 谷淑娟,高学东,刘燕驰,等. 基于多尺度网格模型的物流配送中心选址候选集构建方法[J]. 控制与决策,2011,26(8):1141-1146
- [12] 俞武扬,吕静. 竞争市场新进企业的容量设施选址研究[J]. 控制与决策,2018,33(10): 1789-1794
- [13] Hogan K, Revelle C. Concepts and applications of back-up coverage[J]. *Management Science*, 1986, 32(11): 1434-1444
- [14] 张贵军,夏华栋,周晓根,等. 一种配电网络差分禁忌线路规划方法[J]. 计算机科学,2016, 43(10):248-255
- [15] 明洁,张贵军,刘玉栋. 多模式公交组合调度优化模型[J]. 计算机科学,2015,42(9):263-267
- [16] 毕娅. 云物流下基于协同库存和覆盖的选址-分配问题研究[D]. 武汉:武汉理工大学物流工程学院,2012
- [17] Geng B R, Jiao L C, Gong M G, et al. A two-step personalized location recommendation based on multi-objective immune algorithm[J]. *Information Sciences*, 2019, 475: 161-181
- [18] 杨立熙,王秀萍. 基于免疫遗传算法求解多目标柔性作业调度问题[J]. 武汉理工大学学报(信息与管理工程版),2018,40(1):69-74

Research and implementation on maximum coverage double layer location problem based on GIS

Wang Haowen, Wu Chuxiong, Chen Chi, Qin Zihao, Zhang Guijun

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023)

Abstract

The maximum coverage location problem has an important application significance in logistics distribution. In order to fully consider the network characteristics of the existing urban roads, a double-layer location allocation model based on geographic information system (GIS) is established. The model considers the origin-destination (OD) cost of the actual road network and the collaborative supply of resources by multiple distribution centers, and ensures the lower transportation allocation cost while maximizing the total demand of coverage by selecting the location of distribution center. In addition, the location of distribution center and the proportion of materials allocated to each demand point are determined, and the immune genetic algorithm with elitist retention strategy is used to optimize the location allocation, and the effectiveness of the proposed method is verified by an example case study of a district of Hangzhou city based on GIS. Finally, a location system integrating GIS technology and optimization algorithm is realized.

Key words: immune genetic algorithm, location of distribution center, transportation allocation, geographic information system (GIS), maximum coverage