

基于综合满意度的物流末端网点选址研究

马昊明, 赵育瑶

山东交通学院, 山东 济南

收稿日期: 2022年11月26日; 录用日期: 2022年12月16日; 发布日期: 2022年12月28日

摘要

现代物流业经过近些年的不断发展, 已成为国民经济发展的主要支柱和基础性产业, 其发展程度也成为衡量一个国家现代化程度和综合国力的重要标志之一。物流末端网点是现代物流系统中的重要物流节点, 其合理的选址对我国现代物流的健康快速发展起着十分重要的作用。在本文中, 首先使用了灰色预测模型, 通过spssau软件对物流公司的货量历史数据进行曲线拟合, 合理预测了2022年的客户未来需求量; 其次本文在现有的物流末端网点选址模型的基础上, 建立自提的物流末端网点选址模型, 且在模型中同时考虑客户满意度和企业满足度对物流末端网点选址问题的影响, 构建了基于综合满意度的物流末端网点多目标选址模型, 用线性加权求和的方法转换为单目标模型。最后通过软件求解, 得到了不同权重下的选址方案。通过检验, 该方法符合物流末端网点选址的实际要求和发展。

关键词

灰色预测模型, 物流末端网点, 综合满足度, 选址问题

Research on the Location of Logistics Terminal Outlets Based on Comprehensive Satisfaction

Haoming Ma, Yuyao Zhao

Shandong Jiaotong University, Jinan Shandong

Received: Nov. 26th, 2022; accepted: Dec. 16th, 2022; published: Dec. 28th, 2022

Abstract

After the continuous development of modern logistics in recent years, it has become an important pillar and basic industry of national economic development, and its development degree has also

become one of the important indicators to measure the degree of modernization and comprehensive national strength of a country. The logistics terminal network is an important logistics node in the modern logistics system, and its reasonable location plays a very important role in the healthy and rapid development of modern logistics in China. In this paper, the gray prediction model is first used to do curve fit of the historical data of the logistics company's volume through the spssau software, and the future demand of customers in 2022 is reasonably predicted. Secondly, on the basis of the existing logistics terminal network location model, this paper establishes a self-pickup logistics terminal network location model, and considers the influence of customer satisfaction and enterprise satisfaction on the location problem of logistics terminal network in the model, constructs a multi-objective location model of logistics terminal network based on comprehensive satisfaction, and converts it into a single-objective model by linear weighted summation. Finally, through software solution, the site selection scheme under different weights is obtained. Through the test, the method meets the actual requirements and development of logistics terminal network site selection.

Keywords

GM(1,1), Logistics Terminal Outlets, Overall Satisfaction, Sitting Issues

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在新时代经济背景下, 物流业越来越凸显其在社会发展过程中的战略地位。在整个物流网络的运作过程中, 末端服务网点作为分拨中心和客户需求点之间的桥梁, 在物流网络中有着不可或缺的作用, 因此科学的选取末端网点极其重要。为此众多学者对选址进行了相关的探索和探究。张戎[1]等用双层规划模型分别从政府角度和客户的角度进行末端网点选址; 李丁[2]等在基于虚拟企业与资源集成理论上提出了在虚拟环境下 3PL 企业实施协同配送的模型; 戎陆庆[3] [4] [5] [6]根据绿色物流的理念, 引入碳排放成本的配送中心选址模型, 许多选址问题可以表述为混合整数规划模型; 魏延青[7]等人根据受灾区域的受灾程度进行了分层, 考虑到不同受灾区域的物品需求满意度和救灾预算成本等因素, 并以救灾物资需求满意度为目标建立了最大问题覆盖选址模型; Xiang Hua [8]提出了一种具有非线性惯性权重值和时变加速度系数的自适应粒子群算法来求解物流配送中心选址的数学模型。最后, 通过实际数值实验, 讨论了不同预算成本下和各受灾区域物资各不相同的满足标准对物资分配中心的数量和地址的影响。

本文充分考虑在物流货量预测过程中, 数据样本通常较小, 且具有非线性的特点, 因此采用适用于研究信息不确定问题的灰色预测模型预测未来货量, 同时采用基于综合满意度的物流末端网点模型进行末端网点选址, 可在一定程度上为物流企业的发展方向提供理论依据和实践基础。

2. GM(1,1)模型设置

GM(1,1)模型表示一阶的、一个变量的微分方程模型, 是最常用的灰色模型之一。在物流中, 运输量等表征量一次累加生成序列为严格的单增序列, 可以使用指数函数进行拟合。目前使用最广泛的灰色预测模型是关于数据预测的一个变量、一阶微分的 GM(1,1)模型。它是基于随机的原始时间序列, 经按照时间累加后形成的新的时间序列呈现的规律可用一阶线性微分方程的解来逼近, 因此可以采用 GM(1,1)

模型进行物流需求量的预测。

GM(1,1)模型的一阶微分方程为:

$$\frac{dx}{dt} + ax = u$$

公式中: a , u 为需要求解的两个参数, GM(1,1)中, 设定非负原始数列:

$$X^{(0)} = \{x^{(0)}(k), k = 1, 2, \dots, n\}$$

对 $X^{(0)}$ 做一次累加, 得到生成数列:

$$X^{(1)} = \{x^{(1)}(k), k = 1, 2, \dots, n\}$$

其中:

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=0}^k x^{(0)}(i) \quad (k = 1, 2, \dots, n)$$

经转换得到:

$$Y = [x^{(0)}(2), x^{(0)}(3), \dots, x^{(0)}(n)]^T$$

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(3) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix}$$

$$Y = B \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix}$$

GM(1,1)模型的离散解还原后得到:

$$\hat{x}^{(0)}(k) = \hat{x}^{(1)}(k) - \hat{x}^{(1)}(k-1)$$

对 GM(1,1)模型通过 spssau 软件对客户群的需求量进行曲线拟合, 对需求量进行预测。

3. 基于综合满意度的物流末端网点选址模型

随着物流行业的迅速发展, 物流末端配送“最后一公里”所面临的配送成本高、商品运输滞缓、客户满意度低等问题越来越多, 已经成为阻碍物流行业发展的主要因素。针对这些问题, 物流企业提出让客户上门取货和送货上门的方式为客户进行末端服务, 而末端网点的数量和位置都会对客户满意度产生影响。

3.1. 模型假设

末端网点选址模型影响选址结果的因素较多, 为了方便构建模型, 本文提出以下假设:

- 1) 将客户根据地理位置划分为客户群;
- 2) 不考虑网点之间的竞争关系, 且每个客户群有且仅有一个网点为其配送;
- 3) 客户群被末端网点全覆盖;

4) 每个客户群需求量在一定时间内稳定不变。

3.2. 符号说明

$N_m = (1, 2, \dots, m)$ 是所有备选物流末端网点的集合。 m 为备选物流末端网点的个数。

$N_n = (1, 2, \dots, n)$ 是客户群的集合。 n 为客户群的个数。

x_i, y_{ij} 是 0~1 变量。其中, $i \in N_m, j \in N_n$ 。

d_{ij} 是备选物流末端网点 i 到客户群 j 的距离。

d_a 是备选物流末端网点 i 到客户群 j 的最大距离。

d_k 是备选物流末端网点 i 到客户群 j 的理想距离。

g_i 是备选物流末端网点 i 的建设费用。

r 是物流末端网点的人均工资。

C_m 是企业可接受的最大成本。

Q_j 是客户群 j 的货物需求量。

3.3. 问题分析

根据本文所要解决的问题, 可以将末端网点选址问题归类为分配 - 选址问题。分配 - 选址问题为城市末端配送中的基本问题, 例如某个物流企业在某个区域范围内, 选择若干个备选物流末端网点, 考虑备选网点的最大货容量和服务范围, 使区域内所有客户均被服务, 在选址过程中不仅需要考虑到物流末端网点的数量, 因为网点数量的多少直接影响客户满意度的高低。还需要考虑投入的成本, 投入的成本也随着末端共同配送网点的数量增多而增加。所以物流末端网点选址模型中需要考虑到客户满意度和企业满足度两个目标函数。

1) 客户满意度

客户满意度是指客户对物流企业所提供的配送服务的满意程度。在末端配送中, 时效性是客户对物流配送服务质量的重要评判标准之一, 在其他相同条件下, 客户更倾向于物流配送效率高的物流企业。由于客户自提的配送方式不确定性因素较多, 所以在模型中将时间的长短体现为客户到物流末端网点的距离。因此本文采用线性函数描述客户群 j 对物流末端网点 i 的满意度隶属函数, 即:

$$f(d_{ij}) = \begin{cases} 1 & d_{ij} \leq d_k \\ 1 - \left(\frac{d_{ij} - d_k}{d_a - d_k} \right)^\beta & d_k < d_{ij} < d_a \\ 0 & d_{ij} \geq d_a \end{cases} \quad (2-1)$$

式中, β 为距离敏感系数, β 的大小代表客户对于距离的敏感程度。当 $\beta > 1$ 时, 客户满意度曲线是凸的; 当 $\beta < 1$, 客户满意度曲线是凹的; 当 $\beta = 1$ 时, 客户满意度是一条直线。为了后续模型的求解, 本文采用线性函数模型, 即 $\beta = 1$ 。

客户满意度可以衡量物流末端网点的优劣, 但是在实际生活中, 每个客户群对物流企业所产生的实际价值都是不同的, 由于每个客户群人口数量的不同, 所以产生实际收益不同。因此为使物流企业效益最大化, 在客户满意度函数中引入客户群价值系数。客户群 j 的价值系数是物流末端网点 i 服务的客户群 j 的人口数量与物流末端网点 i 平均人口数量的比值:

$$\omega_j = \frac{z_j}{\sum_{j \in N_n} y_{ij} z_j} \quad (2-2)$$

根据客户群 j 的价值系数和客户群 j 对物流末端网点 i 的满意度隶属函数就能得到物流末端网点 i 所服务的客户群对其的满足度为:

$$k_i = \sum_{j \in N_n} y_{ij} \omega_j f(d_{ij}) \quad (2-3)$$

根据上述公式可以得到客户群对选择的所有物流末端网点的平均客户满足度为:

$$F_1 = \frac{\sum_{i \in N_m} x_i k_i}{\sum_{i \in N_m} x_i} \quad (2-4)$$

2) 企业满足度

物流末端网点选址不能只考虑提高客户满意度, 还要考虑物流企业自身的满足程度。企业满足度在本文中是指建设的物流末端网点, 物流企业对于投资建设物流末端网点的总成本占预期投资的比重。物流企业建设末端网点也是为了减少物流成本, 所以控制新增物流末端网点的总成本也是物流末端网点选址决策时需要考虑的主要目标。所以在本文中就是物流企业对投资建设花费的总成本和预期投资总成本构造企业满足度函数。在所有客户群有且仅有一个物流末端网点为其服务前提下, 物流末端网点花费的总成本越低, 企业满足度越高。根据物流末端网点的位置, 每个备选物流末端网点的费用有所差别, 选择的物流末端网点的固定成本用 C_1 表示为:

$$C_1 = \sum_{i \in N_m} g_i x_i \quad (2-5)$$

物流末端网点的运营成本指的是网点内工作人员根据从分拨中心运送过来的货物根据收货地址, 对商品进行拣选、配送等工作所耗费的人工成本。则选择的物流末端网点的运营成本用 C_2 表示为:

$$C_2 = \sum_{i \in N_m} x_i \left[\text{round} \left(\frac{\sum_{j \in N_n} Q_j y_{ij}}{K} \right) r \right] \quad (2-6)$$

由公式(3-5)和公式(3-6)可以得到建设物流末端网点的总成本 c 为:

$$c = \sum_{i \in N_m} g_i x_i + \sum_{i \in N_m} x_i \left[\text{round} \left(\frac{\sum_{j \in N_n} Q_j y_{ij}}{K} \right) r \right] \quad (2-7)$$

综上可以由式(3-7)得到企业满足度函数为:

$$F_2 = 1 - \frac{c}{c_m} \quad (2-8)$$

3.4. 模型构建

根据以上的假设和问题分析, 构建物流企业末端网点选址的优化模型。

客户满足度目标函数:

$$\max F_1 = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_i y_{ij} \omega_j f(d_{ij})}{\sum_{i=1}^m x_i} \quad (2-9)$$

s.t.

企业满足度目标函数:

$$\max F_2 = 1 - \frac{c}{c_m} \quad (2-10)$$

每个客户群有且仅有一个物流末端网点为其服务:

$$\sum_{j \in N_n} y_{ij} = 1 \quad (2-11)$$

确保每个客户群都在物流末端网点的服务范围之内:

$$d_{ij} < d_m \quad (2-12)$$

备选物流末端网点的数量约束:

$$1 < \sum_{i \in N_m} x_i < m \quad (2-13)$$

所选的物流末端网点的货容量大于物流末端网点所服务客户群的需求量:

$$\sum_{j \in N_n} Q_j y_{ij} < F_i \quad (2-14)$$

物流末端网点被选中时为客户群服务:

$$x_i > y_{ij} \quad (2-15)$$

0~1 变量:

$$x_i, y_{ij} \in \{0, 1\} \quad (2-16)$$

4. 基于综合满意度的物流末端网点选址模型求解

4.1. 多目标模型求解

由于上述模型中存在两个目标函数, 在物流企业实际决策中客户满意度与企业满足度两个目标函数存在一定矛盾, 故两个目标函数同时达到最优的决策不存在, 为了不舍弃其他目标, 通过线性加权的方法将多目标函数问题转换为单目标函数问题。权重由物流企业中的决策者根据企业实际情况确定。故基于综合满意度的物流末端网点选址模型的目标函数可以转换为:

$$\max F = w_1 F_1 + w_2 F_2$$

w_1 、 w_2 为目标函数重客户满意度和企业满足度的权重。在上式中, F 为客户满意度和企业满足度二者的综合满足度目标函数, 而且 $w_1, w_2 \geq 0$, $w_1 + w_2 = 1$ 。

4.2. 免疫优化算法设计

本文所研究的物流末端网点选址问题属于 NP-hard 问题, 考虑到物流末端网点有很多备选网点和客户群, 组合运算难度较大, 故采用启发式算法求解。所选的算法为免疫优化算法, 该算法是受到生物免疫系统的启发, 利用免疫系统的多样性产生和自我调节机制来保持群体的多样性, 克服了一般寻优过程中的早熟问题, 最终求得全局最优解。算法流程如下:

Step 1: 分析问题, 可知物流末端网点选址模型的解是 0-1 变量, 故可以采用二进制的编码形式。

初始抗体是在可行解的范围内随机产生的。比如: 有 8 个备选物流末端网点, 采用二进制编码形式。抗体的长度为备选末端共同网点的个数 8。染色体编码, 例如随机生成初始编码串 {0.68, 0.32, 0.46, 0.89, 0.14, 0.94, 0.42, 0.56}, 然后判断编码串的数是否大于 0.5, 大于 0.5, 则为 1, 否则就是 0, 解码就变成 {1, 0, 0, 1, 0, 1, 0, 1}, 其中 1 表示备选物流末端网点被选中。即 1, 4, 6, 8 末端共同配送网点被选择中建设。其中染色体编码的随机生成的编码串能够保证初始种群的多样性。

Step 2: 产生初始抗体群, 根据步骤 1 规定的染色体编码解码规则随机产生 $N+m$ 个抗体。其中 N 为种群规模, m 为记忆库中抗体数量。

Step 3: 将客户群按照距离最近原则选择物流末端网点, 根据现实情况在物流末端网点都在客户群可接受的距离范围内时, 客户只会选择距离自己最近的物流末端网点, 而不会根据模型设定去选择物流末端网点, 所以在求解模型时, 直接安排客户选择距离自己最近的物流末端网点, 才是最合理和符合现实情况。

Step 4: 对 $N + m$ 个抗体进行评价, 个体期望繁殖率为标准来评价抗体的优劣程度。

Step 5: 进行降序排列形成父代群体, 取前 N 个个体为父代群; 根据精英策略保留前 m 个抗体存入库。

Step 6: 判断目标函数是否达到最优值或者算法运行是否达到迭代次数, 若满足上面条件则结束, 否则继续操作。

Step 7: 免疫操作(对父代群执行):

- 1) 选择, 根据预先设定的选择概率进行选择(轮盘赌法);
- 2) 交叉, 根据预先设定的交叉概率进行单点交叉;
- 3) 变异, 根据预先设定的变异概率进行随机变异。

Step 8: 根据 Step 7 中进行免疫操作产生的 N 个新抗体和保留在库中的 m 个抗体, 组成新的 $N + m$ 个抗体种群; 然后转去执行 Step 4, 直到循环结束。

5. 案例分析

为了验证本文构建的物流末端网点选址的多目标模型和设计的改进免疫优化算法的有效性。本案例选取天津 Q 物流公司。天津市 Q 物流公司以汽配物流起家, 随着外部渠道业务的引入和自身直营网络的扩张, 货量随之不断增长。现 Q 物流公司为了匹配日渐增长的业务量, 公司拟在天津大区中的 7 个备选物流末端网点中选出若干个物流末端网点进行投资新建, 截止至 2022 年 1 月, Q 物流公司仅有一个分拨中心, 将三个大区中的客户划分为 10 个客户群。其中, 备选物流末端网点坐标及固定成本如表 1 所示, 表 2 是客户群近 3 年货物需求量, 表 3 是 GM(1,1)模型预测 2022 年客户群的货量, 备选物流末端网点和客户群的坐标图如图 1 所示。人均工资为 4000 元。

Table 1. Alternative logistics terminals and fixed costs

表 1. 备选物流末端网点及固定成本

备选物流末端网点	实际坐标	固定成本
1	(117.129626, 39.234275)	7900
2	(117.111143, 39.206347)	8300
3	(117.147135, 39.09007)	8000
4	(117.296343, 39.160528)	8600
5	(117.252398, 39.113174)	9000
6	(117.39831, 39.100387)	7900
7	(117.309046, 39.124894)	8600

对于免疫优化算法来说, 参数的设置显得尤为重要, 不同参数的选取对于算法结果都会产生直接影响。本文将采用下面的参数进行求解: 种群规模 $N = 50$, 记忆库量 $m = 10$, 迭代次数为 200, 变异概率为 0.1, 交叉概率为 0.5, 多样性评价参数设为 $\alpha = 0.95$ 。

通过使用 matlab 软件对免疫优化算法求解得出, 当进化到 40 代时, 最有亲和度不再变化, 可以说

明免疫优化算法可以快速地收敛到最优解, 能够有效的求解物流末端网点选址问题。表 4 为不同权重下的选址方案。

Table 2. Customer base in the past 3 years of cargo demand

表 2. 客户群近 3 年货物需求量

年份	客户群										总计
	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10	
2019	14,586	13,462	14,555	11,256	12,985	14,638	15,892	16,328	16,659	18,754	149,115
2020	17,743	17,659	17,636	15,598	17,623	15,672	17,109	18,488	17,929	20,379	175,836
2021	19,743	20,551	19,636	19,598	20,623	18,672	19,109	21,488	20,929	22,743	203,092

Table 3. Forecast of demand for goods for all customer segments

表 3. 全部客户群的货物需求量预测

客户群	w1	w2	w3	w4	w5	w6	w7	w8	w9	w10
货物需求预测量	21,941	23,853	22,836	24,456	24,064	22,164	22,315	24,910	24,363	25,348

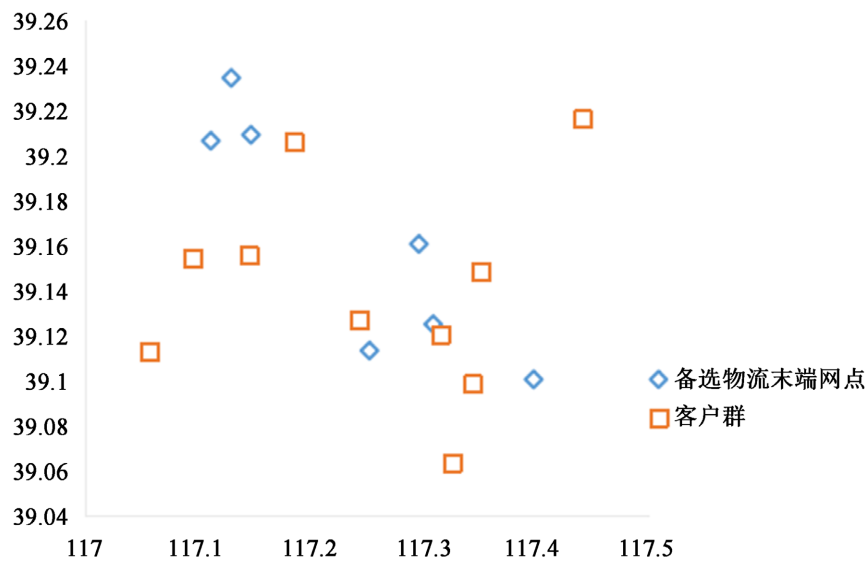


Figure 1. Alternative logistics terminal network and customer group coordinate map

图 1. 备选物流末端网点及客户群坐标图

Table 4. Site selection scheme under different weights

表 4. 不同权重下选址方案

序号	权重	选址结果	选址数量	客户满意度	企业满足度
1	$w_1 = 0$ $w_2 = 1$	2, 4	2	83%	32%
2	$w_1 = 0.2$ $w_2 = 0.8$	2, 4	2	83%	32%
3	$w_1 = 0.4$ $w_2 = 0.6$	2, 3, 6	3	92%	35%
4	$w_1 = 0.6$ $w_2 = 0.4$	2, 3, 6	3	90%	36%

Continued

5	$w_1 = 0.8$ $w_2 = 0.2$	1, 6, 7	3	95%	23%
6	$w_1 = 1$ $w_2 = 0$	1, 2, 4, 5, 6, 7	6	98%	1%

在模型中, w_1 的权重越小, 表示对客户满意的关注度就越小, w_1 越大, 表示对客户满意的关注度就越大。因此, 该模型的求解表示对选址问题的不同决策, 当 Q 物流公司的战略以客户满意度为原则时就会选择客户满意度的权重较大的方案, 反之 W 物流公司的战略若以节约成本为原则时, 则会选择企业满足度权重大的方案。

根据表 2 不同权重下的选址方案, 可以为 Q 物流公司提供以下三种选址策略:

- 1) 在满足客户服务的条件下, 追求使用较少的成本投入, 则选择 1, 2;
- 2) 将客户满意度放在第一位, 把客户满意度的权重调整到较大且满足成本的情况下, 可以选择 5, 6;
- 3) 均衡的选址策略, 同时考虑客户满意度和企业满足度, 并且二者同等重要, 可以选择 3, 4。

6. 结论

物流末端配送是物流服务直接面向客户的最后环节, 如果物流服务水平问题不能提高, 可能会导致客户满意度下降, 不利于物流企业长期稳定发展。由于物流末端配送具有面向客户的特性, 末端配送的研究具有重要的意义。且“最后一公里”服务的好坏直接关系到物流企业配送业务在市场竞争中的地位。本文为了解决考虑客户满意度和企业满足度这类的选址问题, 构建了基于综合满意度的物流末端网点选址模型, 客户满意度和企业满足度二者的关系是解决此类问题的重要因素, 会产生不同的决策, 分析不同决策思维模式下不同解决方案的特点。然后, 本文使用模型获得一个不同的解决方案。该方法对指导决策过程有着重要的意义。但该方法忽略了网点之间竞争的问题, 在一定程度上影响模型的结果, 在以后的研究中需进一步完善。

参考文献

- [1] 张戎, 王镇豪. 城市配送末端节点布局双层规划模型及算法[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2012, 40(7): 1035-1040.
- [2] 李丁, 黄远新, 田红英. 虚拟环境下 3PL 企业实施协同配送的仿真研究[J]. 物流技术, 2009, 28(7): 117-120.
- [3] Tang, X., Lehuédé, F. and Péton, O. (2016) Location of Distribution Centers in a Multi-Period Collaborative Distribution Network. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, **52**, 293-300. <https://doi.org/10.1016/j.endm.2016.03.039>
- [4] Dan, Z.G., Yu, S.C., Zhen, L., et al. (2016) Multi-Period Distribution Center Location and Scale Decision in Supply Chain Network. *Computers & Industrial Engineering*, **101**, 216-226. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.09.001>
- [5] He, Y.D., Wang, X., Lin, Y., et al. (2017) Sustainable Decision Making for Joint Distribution Center Location Choice. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **55**, 202-216. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.07.001>
- [6] 郭鹏, 周洋, 周峰, 等. 城区物流配送中心选址优化系统设计与实现[J]. 河北科技大学学报, 2017, 38(1): 19-25.
- [7] 魏延青, 庆徐, 荣亚军. 基于救灾物资满意度的最大覆盖选址问题[J]. 物流工程与管理, 2013, 35(1): 50-53.
- [8] Hua, X., Hu, X. and Yuan, W. (2016) Research Optimization on Logistics Distribution Center Location Based on Adaptive Particle Swarm Algorithm. *Optik: International Journal for Light and Electron Optics*, **127**, 8443-8450. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.06.032>