

基于多目标规划的疫情物资分配问题

王文跃*, 徐芷微, 周 雪

辽宁师范大学, 辽宁 大连

收稿日期: 2022年10月18日; 录用日期: 2022年11月12日; 发布日期: 2022年11月21日

摘 要

在大规模疫情爆发期间由于我国采用封闭式管理方式来实现疫情的快速清零, 从而疫情期间各类人群的科学管理变得尤为重要。本文首先分析此次长春市疫情各区生活物资投放点数量的合理性并对其进行优化, 根据TOPSIS综合评价模型来构建指标体系, 通过MATLAB计算得分对各区在本次疫情中的风险程度进行评估, 运用层次分析法确定各区的权重, 根据综合评分对投放点的数量进行合理分配; 其次依据各参数指标区别各区投送物资任务, 由聚类思想绘制最优有序网络图, 然后优化卡车投送物资预案并对此进行评价, 借助枚举中心点的方法和优化模型, 网络格点坐标分量为决策变量, 确定网络格点的坐标, 然后借助优化模型确定卡车运送预案, 并对照指标评价。模型的应用可以对今后疫情防控提供有利帮助。

关键词

物资分配, TOPSIS评价模型, 层次分析法, 多目标规划

Distribution of Epidemic Materials Based on Multi-Objective Programming

Wenyue Wang*, Zhiwei Xu, Xue Zhou

Liaoning Normal University, Dalian Liaoning

Received: Oct. 18th, 2022; accepted: Nov. 12th, 2022; published: Nov. 21st, 2022

Abstract

The scientific management of all kinds of people became particularly important during the outbreak period because the closed-end management method was adopted to realize the rapid elimination of the epidemic. This paper first analyzes the rationality of the number of distribution points of living materials in each district of the epidemic situation in Changchun and optimizes them, based on TOPSIS comprehensive evaluation model to build the index system, through the MATLAB

*通讯作者。

calculation points for each area in this outbreak to evaluate the degree of risk, using the analytic hierarchy process (ahp) to determine the weight of each area, according to the number of the comprehensive score of the drop point distribution; secondly on the basis of each district to project material parameter index difference between tasks, drawn by the clustering thought the optimal order network diagram, and then optimize the truck delivery material plan and evaluation, with the center of enumeration method and the optimization model of network lattice coordinate component x, y as decision variables, determine the coordinates of the network lattice, and then with the aid of optimization model to determine the truck plan, and compared with the index evaluation. The application of the model can provide beneficial help for the prevention and control of the epidemic in the future.

Keywords

Material Distribution, TOPSIS Evaluation Model, Analytic Hierarchy Process, Multi-Objective Programming

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

自 2022 年以来全国范围内陆续出现了多次较大规模疫情爆发事件。新冠疫情的爆发对全球公共健康、生命安全和经济发展都造成了巨大的危害。在大规模疫情爆发期间,我国主要采取封闭式管理方式来实现疫情的快速清零,因而对疫情期间各类人群的科学并有效的管理就显得尤为重要。虽然自新冠肺炎爆发以来,人们对于引发疫情的 2019 新型冠状病毒(COVID-19)的科学认知也逐步加深[1],应对手段逐步调整,信息掌控的逐步丰富,但是大部分地区管理者尚未遇见如此大规模爆发的疫情及不同地区疫情爆发时长、人口规模与地理位置等的差异性,众多地区仍未形成较为科学的统一管理模式,使得疫情的清零周期普遍较长。应急物资配置决策收到传染病疫情时空分布、感染规模等因素的影响,而这些因素很大程度上取决于一曲采取的疫情防控措施,进而形成不同的动力学传播。传染病的防控和救治一直是我国人民普遍关心的一类问题,而对疾病的发病机制、原理以及传播特征等规律进行理论研究和定量分析[2],对防治工作具有十分重要的意义。截至目前,国内学者对传染病防控问题的背景以及所面临的挑战都给出了自己的分析与设计,但现有研究仍有一定的不足,仍然有需要进一步进行解答的问题,例如:传染病卫生治理到底能否治理,用何种手段治理。除此之外,当前研究主要集中于定性研究,比较缺乏对问题所进行的定量研究,同时对文化及社会认知程度的研究也比较缺乏。由于传染病的特殊性,其传播过程不能通过进行实验得以重现,因此,通过数学建模进行研究就显得非常必要。数学模型以数学语言为基础,通过对实际问题进行概括,抓住主要影响因素,忽略次要影响因素,建立互相联系的数学公式,并通过求解进行定量分析,进而达到指导现实工作的目的。本文基于长春市生活物资投放点数量的合理性并对其进行优化,建立合适的模型并带入已知数据进行求解,模型的应用可以对今后疫情防控提供有利帮助。

2. 投放点数量合理分配问题

2.1. 基本信息分析

首先根据实际数据中长春市 9 个区的交通网络与主要小区(1409 个)的散点分布见图 1,结合小区位置

与路口结点信息，分析小区分布与道路分布的特点[3]。

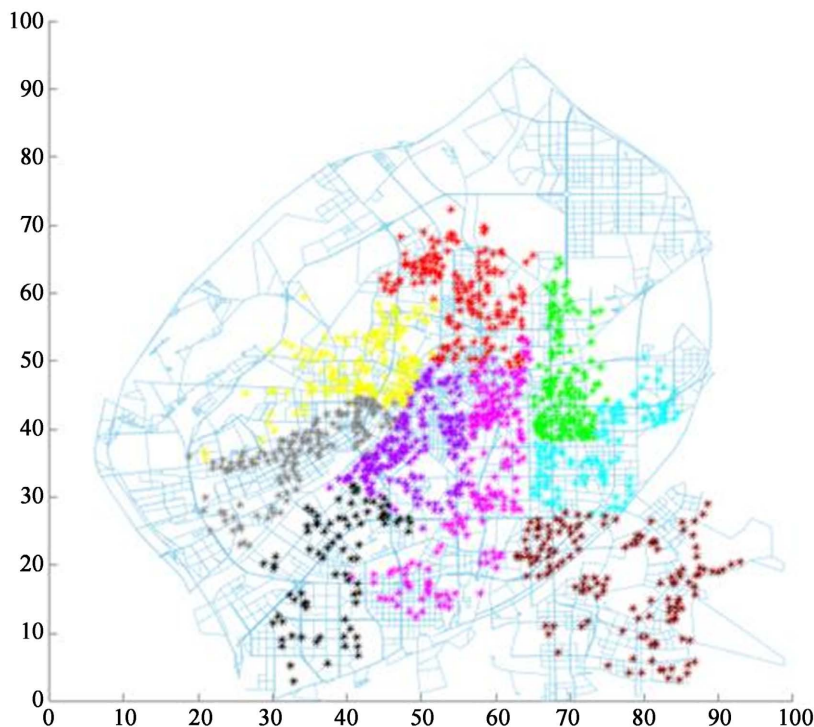


Figure 1. Distribution map of traffic network and main residential areas in 9 districts of Changchun City
图 1. 长春市 9 个区交通网络与主要小区分布图

对于各区投放点数量的合理性，我们结合各区的小区栋数、小区户数、小区人口数、街道数目、新冠疫情人数以及无症状感染者人数这些参数指标分析，可知这些指标属性为效益性指标，即属性值越大，需设置投放点的数量越多。由此可知，目前已知信息中投放量并不合理，各区生活物资投放点数量与隔离人口总数并非正相关。所以针对该问题，依据参数指标对区域进行重新评估排序是有必要的。

2.2. 指标参数的说明

我们构建指标体系来对各区进行评估得分。各区的参数指标见表 1 所示。

最优解为 [3740 219874 548179 69 3633 5263]。

最劣解为 [789 76909 189240 29 667 628]。

以二道区为示例，数据预处理，运用向量规范化进行以下变换

$$x = \begin{pmatrix} 1820 & 166428 & 405784 & 50 & 1222 & 1319 \\ 1507 & 85748 & 204056 & 59 & 1011 & 628 \\ 2336 & 183877 & 462146 & 68 & 1438 & 2129 \\ 1524 & 128899 & 306143 & 58 & 3633 & 5263 \\ 3740 & 219874 & 548179 & 69 & 1872 & 1563 \\ 1171 & 81675 & 193462 & 54 & 667 & 449 \\ 789 & 76909 & 189240 & 43 & 1872 & 1593 \\ 2198 & 155261 & 372541 & 57 & 2376 & 2381 \\ 2116 & 141780 & 338274 & 29 & 1432 & 957 \end{pmatrix} .$$

Table 1. The parameter index table of each district
表 1. 各区的参数指标表

所属区域	小区栋数	小区户数	小区人口数	街道数	新冠疫情人数	无症状感染者人数
二道区	1820	166,428	405,784	50	1222	1319
净月区	1507	85,748	204,056	59	1011	628
南关区	2336	183,877	462,146	68	1438	2129
宽城区	1524	128,899	306,143	58	3633	5263
朝阳区	3740	219,874	548,179	69	1872	1563
汽开区	1171	81,675	193,462	54	667	449
经开区	789	76,909	189,240	43	1872	1593
绿园区	2198	155,261	372,541	57	2376	2381
长春新区	2116	141,780	338,274	29	1432	957

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^9 x_{ij}^2}}, i = 1, \dots, 9; j = 1, \dots, 6.$$

由此得到向量规范化属性矩阵，从而消除量纲影响。

2.3. 层次分析权重的确定

接下来通过层次分析法确定权重：

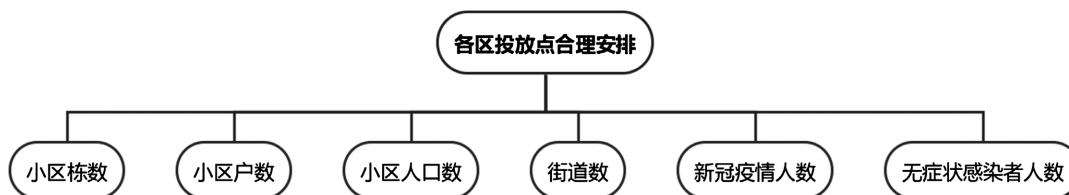


Figure 2. Distribution map of distribution points in each district
图 2. 各区投放点安排分布图

首先如图 2，我们确定目标层为各投放点数量的合理安排，因素层则分别为 6 项参数指标。构建准则层(因素层)对目标的成对比矩阵 A 为：

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 & 2 & 1 & 2 \\ \frac{3}{2} & 1 & \frac{3}{4} & 3 & \frac{1}{2} & \frac{3}{5} \\ 2 & \frac{4}{3} & 1 & 4 & \frac{2}{3} & \frac{4}{5} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{3} & \frac{1}{4} & 1 & \frac{1}{6} & \frac{1}{5} \\ 3 & 2 & \frac{3}{2} & 6 & 1 & \frac{6}{5} \\ \frac{5}{2} & \frac{5}{3} & \frac{5}{4} & 5 & \frac{5}{6} & 1 \end{pmatrix}$$

成对比矩阵 A 的最大特征根为 $\beta = 6$ ，矩阵的阶数 $n = 6$ 。
其特征向量(权向量)为：

$$\omega' = \begin{pmatrix} 0.2691 \\ 0.5441 \\ 0.6954 \\ 0.1739 \\ 0.3241 \\ 0.1116 \end{pmatrix}.$$

归一化后结果为：

$$\omega' = \begin{pmatrix} 0.1270 \\ 0.1213 \\ 0.2569 \\ 0.3283 \\ 0.0821 \\ 0.0527 \end{pmatrix}.$$

一致性指标为：

$$CI = \frac{\beta - n}{n - 1} = \frac{6 - 6}{6 - 1} = 0.$$

随机一致性指标为：

$$RI = 1.24(n = 6)$$

一致性比率为：

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0.1.$$

2.4. 最终得分求解

最终得到二道区的综合得分为 0.274232274，同理可以计算出其他 8 个区的综合得分，排序与分配的结果见表 2 所示。

Table 2. Ranking table of the scores of the nine districts
表 2. 九个区的得分排序表

所属区域	排序	得分	调整后数量	原生活物资投放点数量
二道区	5	0.112186	168	94
净月区	8	0.035064	53	261
南关区	3	0.159233	239	181
宽城区	2	0.19496	292	470
朝阳区	1	0.201708	303	9
汽开区	9	0.016566	25	215
经开区	7	0.046156	69	37
绿园区	4	0.14784	222	279
长春新区(高新)	6	0.086288	129	10

3. 多目标规划模型

为达到投放点数量的合理规划目标, 本文以投放点数量为决策变量, 构建如下的多目标规划模型, 同时运用到聚类分析与集群的思想[4]。

3.1. 目标函数

以储备数量最小化目标作为目标函数, 如公式(1)所示:

$$\min f_1(x) = \sum_{i=1}^n c_i x_{i,t}, \quad (1)$$

其中, $x_{i,t}$ 为 t 天的投放点 i 的数量, c_i 为投放点 i 的储备数量, n 为参与规划的目标个数, 下同[5]。

选址数量最小化目标如公式(2)所示:

$$\min f_2(x) = \sum_{i=1}^n e_i x_{i,t}, \quad (2)$$

其中 e_i 是投放点 i 的选址系数, 下同。

人均获取蔬菜包里程最小化目标如公式(3)所示:

$$\min f_3(x) = \sum_{i=1}^n g_i x_{i,t}, \quad (3)$$

其中, g_i 表示投放点 i 的人均获取蔬菜包里程系数, 下同。

3.2. 约束条件

储备数量保障天数约束如公式(4)所示:

$$\sum_{i=1}^n c_i x_{i,t} \geq 7, \quad (4)$$

其中, 10 代表储备数量能保障各区天数的约束值。

人均分发数量约束如公式(5)所示:

$$\frac{\sum_{i=1}^n e_i x_{i,t}}{\sum_{i=1}^n g_i x_{i,t}} \leq EI_{31} \times (1 - \delta) \quad (5)$$

其中, 31 代表 COVID-19 疫情持续的时间, δ 表示各区人数约束值。

市场价格增长约束如公式(6)所示:

$$\sum_{i=1}^n g_i x_{i,t} \geq \prod_{t=1}^{34} (1 + \varphi_t) p \quad (6)$$

其中, φ_t 表示 t 天的生活必需品市场价格 p 的增长率。

下限约束如公式(7)所示:

$$x_{i,t} \geq x_{i,34}, i = 1, 2, \dots, 34 \quad (7)$$

假定在规划期内, 不会有新的目标参数产生, 也不会有旧的目标参数淘汰, 为保证数学模型稳定运行, 对各投放点的数量进行约束[6]。

3.3. 模型转换

式 5 是非线性表达形式，需要将其转换成线性表达式，以进行求解。转换过程如公式(8)所示：

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{i=1}^n e_i x_{i,t}}{\sum_{i=1}^n g_i x_{i,t}} &\leq EI_{31} \times (1-\delta) \\ \Rightarrow \sum_{i=1}^n e_i x_{i,t} &\leq EI_{31} \times (1-\delta) \times \sum_{i=1}^n g_i x_{i,t} \\ \Rightarrow \sum_{i=1}^n [e_i - EI_{31} \times (1-\delta) g_i] \times x_{i,t} &\leq 0 \end{aligned} \tag{8}$$

本题最终构建的多目标规划模型如公式(9)所示：

$$\begin{cases} \min f_1(x) = \sum_{i=1}^n c_i x_{i,t} \\ \min f_2(x) = \sum_{i=1}^n e_i x_{i,t} \\ \min f_3(x) = \sum_{i=1}^n g_i x_{i,t} \\ \text{s.t.} \\ \sum_{i=1}^n c_i x_{i,t} \leq 7 \\ \sum_{i=1}^n [e_i - EI_{31} \times (1-\delta) g_i] \times x_{i,t} \leq 0 \\ \sum_{i=1}^n g_i x_{i,t} \geq \prod_{t=1}^{34} (1 + \varphi_t) p \\ x_{i,t} \geq x_{i,34}, i = 1, 2, \dots, 34 \end{cases} \tag{9}$$

充分考虑未来疫情、自然灾害等特殊事件，对于政府储备物资和大规模物资分拣场所(商超)的位置与数量、规模进行合理规划[7]，得到最优的选址数量、规模及其潜在的备用场所位置结果，我们结合多目标规划、聚类分析与集群的思想，由于表格过长文中只展示一个区的结果作为实例，宽城区的 50 小区的最优选址数量、规模及其潜在的备用场所位置结果见表 3 所示。大型物资中心数量结果见表 4 所示。

Table 3. Statistical table of the number and scale of the optimal site selection of 50 communities in the broad urban area and the location of potential standby sites

表 3.宽城区 50 个小区的最优选址数量、规模及其潜在的备用场所位置统计表

小区编号	小区人口数 (人)	小区横坐标_x	街道编号	所属区域	分配结果	小区横坐标_y
1	2417	57°9025	C0035	宽城区	12	56°53328125
2	9080	51°79225	C0048	宽城区	12	56°53328125
5	3033	56°7305	C0035	宽城区	12	56°53328125
8	4853	53°9115	C0053	宽城区	12	56°53328125
22	3825	46°35725	C0049	宽城区	12	56°53328125
25	2176	53°817	C0019	宽城区	12	56°53328125
26	2900	63°41525	C0018	宽城区	12	56°53328125
30	4008	60°7765	C0023	宽城区	12	56°53328125
35	4109	60°917	C0039	宽城区	12	56°53328125

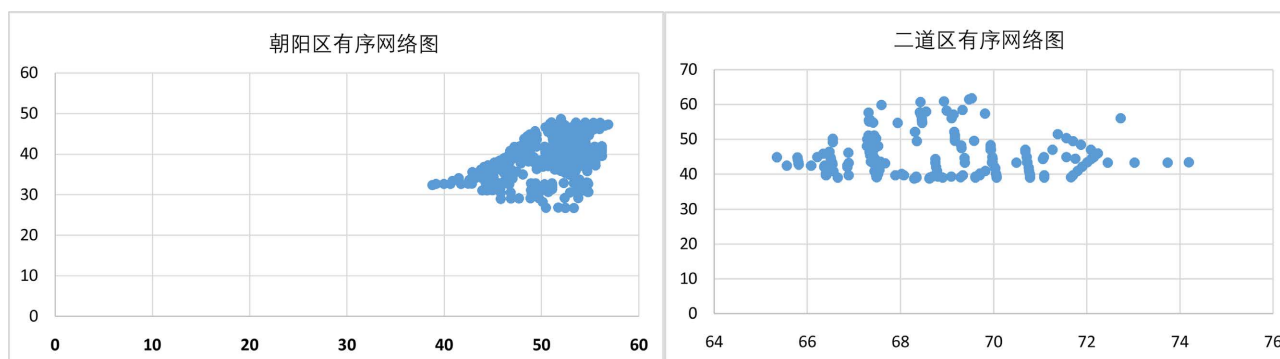
Table 4. Large material center number results**表 4.** 大型物资中心数量结果

所属区域	投放点数目	大型物资中心
二道区	168	17
净月区	53	6
南关区	239	24
宽城区	292	30
朝阳区	303	31
汽开区	25	3
经开区	69	7
绿园区	222	23
长春新区(高新)	129	13

4. 物资供应任务具体预案

4.1. 有序网络图的建立

本文依据人口密度、需求量等参数指标区别对待发放生活物资的任务，这样才能节省人力、物力的同时保证投送效率。首先我们对假定的网络格点上游(第一结点)采用枚举法，假设每个区有一个中心点，这个点到该区所有小区的距离之和为最小值，此时投送效率最高，以小区人数作为权重系数(这里将聚类准则作了调整)，此时小区的人口密集度决定了中心点的偏移方向，这样可以确定9个大型站点的坐标位置；对假定的网络格点的中游(第二结点)，我们仍参照第二问的区域投放量作为指标进行设置，最后依据长春市9个区交通网络与主要小区分布散点图，将一个区域所有点放在一起构成一个面，那么前面所假定的网络格点都可进行一个具体的划分类别，从而确定一个区的网络格点的全部坐标。进一步绘制有序网络图。各区投放点合理分配量不变，作出9个区的有序网络图见图3~7所示。

**Figure 3.** Ordered network diagram of Chaoyang District and Erdao District**图 3.** 朝阳区和二道区有序网络图

根据长春市9个区的有序网络图可知：根据人口密度、需求量等参数指标区别对待发放生活物资的任务，可以节省人力、物力的同时保证投送效率。

4.2. 构建配送路径和配送时间的优化模型

本文运用优化模型，这里采用单目标规划非线性模型，并结合求解非线性规划模型的信赖域方法，

提出求解模型的算法。即可得最优化卡车运送物资预案，最后对照指标评价。

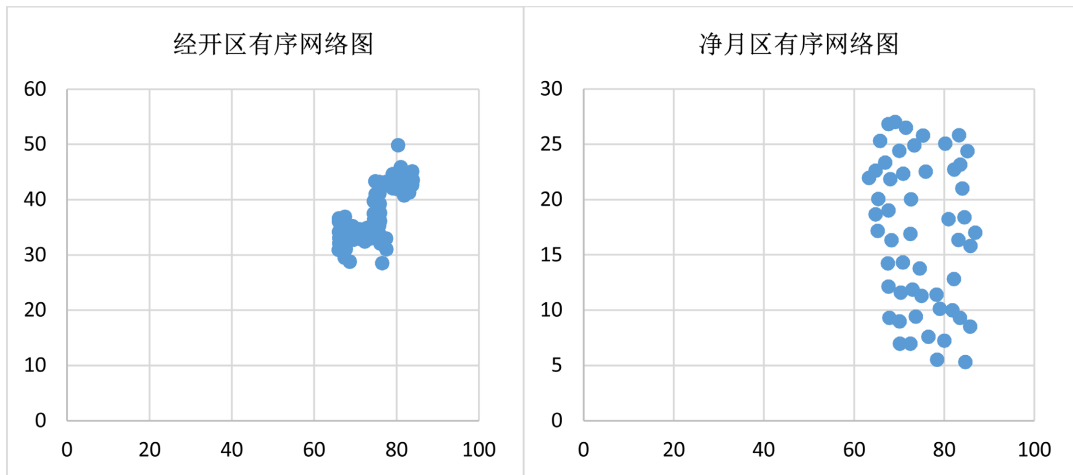


Figure 4. Ordered network diagram of the open zone and the clear moon zone
图 4. 经开区和净月区有序网络图

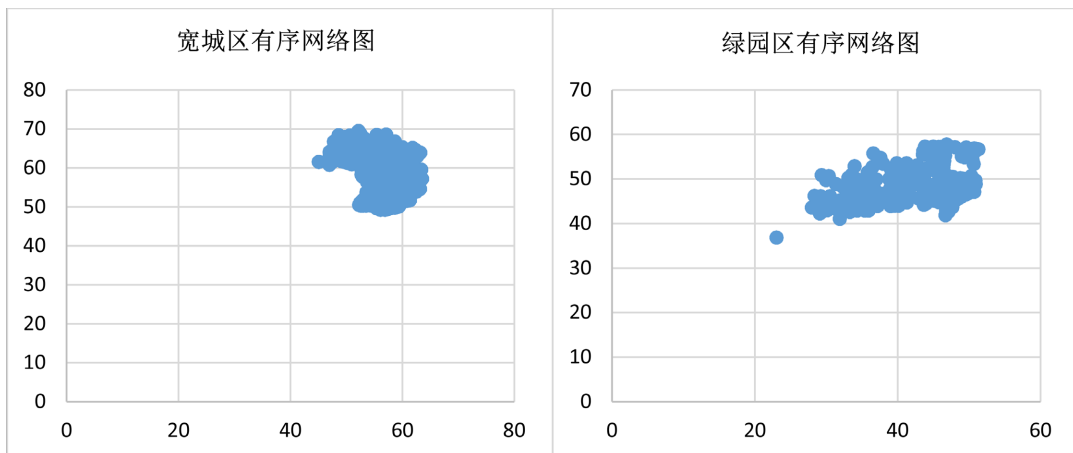


Figure 5. Ordered network diagram of wide urban area and green park
图 5. 宽城区和绿园区有序网络图

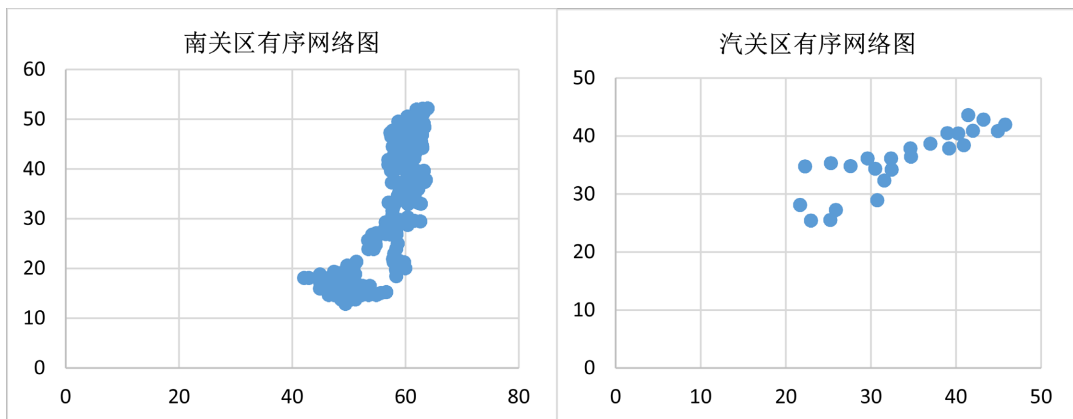


Figure 6. Ordered network diagram of Nanguan District and steam opening area
图 6. 南关区和汽开区有序网络图

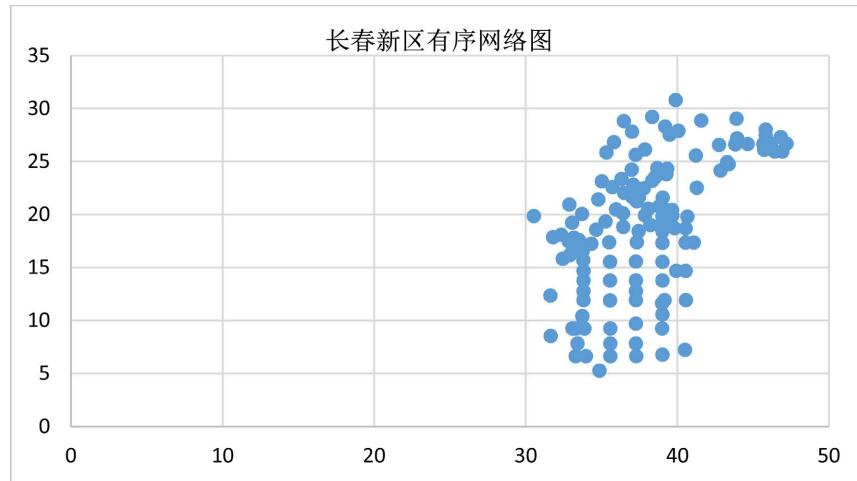


Figure 7. Orderly network map of Changchun New Area
图 7. 长春新区有序网络图

4.2.1. 决策变量分析

由于是要求得最优化的配送路径和相应的配送时间，为了能够同时照顾整体的行动力，我们区别对待不同小区位置的投送任务，把有序网络图上游九各区的中心点、中心点坐标 x 轴和 y 轴作为决策变量，利用功能模拟原理(微分模拟方法与神经网络方法)来获取配送路径、配送时间与决策变量之间的关联关系，公式为：

$$X_i^{(t)} = X_i \left(U_{i1}^{(t)}, U_{i2}^{(t)}, \dots, U_{ij}^{(t)}, \dots, U_{im}^{(t)} \right)$$

式中： $X_i^{(t)}$ 为第 i 项品种蔬菜重量； $U_{ij}^{(t)}$ 为第 t 天第 i 项的第 j 项的决策变量； $U_{i1}^{(t)}$ 为第 t 天第 i 项蔬菜单价，为路径和时间的函数关系； $U_{i2}^{(t)}$ 为第 t 天第 i 项蔬菜投放量； $U_{i3}^{(t)}$ 为第 t 天第 i 项蔬菜投放量的配送人量；下标： $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$ 。

4.2.2. 目标函数分析

在已经算得各分类区域得投送任务得基础上，考虑中心点到区域的所有小区距离之和为最小值，使得建立最有配送路径和配送时间的优化模型，其目标函数为：

$$f(x) = \min[r * d]$$

其中： r 表示小区人数； d 表示中心点到小区的距离。

总投送量约束： $X_1^{(t)} + X_2^{(t)} + X_3^{(t)} + \dots + X_i^{(t)} + \dots + X_n^{(t)} \geq Q^{(t)}$

操作总成本约束： $\sum_{i=1}^n U_{i1}^{(t)} X_i^{(t)} \leq A^{(t)}$

购买物资总成本约束： $\sum_{i=1}^n U_{i2}^{(t)} U_{i3}^{(t)} \leq B^{(t)}$

蔬菜种类约束： $a \leq X_i^{(t)} \leq b$

式中： a, b 分别为第 t 天蔬菜种类的上下界； $A^{(t)}$ 为采买蔬菜的总成本； $B^{(t)}$ 为购买物资总成本上界。

根据上述分析，可以建立起单目标规划非线性模型，求解此模型就可以得出最优化的配送路径和相应的配送时间。

4.3.3. 模型算法设计

单目标规划模型是带不等式约束的非线性优化模型。在求解过程中，采用功能模拟原理获取模型中

配送路径、配送时间与其对应的决策变量关联关系的建立，采用信赖域方法对模型进行求解[7]，关键公式如公式(10)~(14)所示。

首先，令

$$g(X) = (g_1, g_2, g_3) = \left\{ \begin{array}{l} X_1^{(t)} + X_2^{(t)} + X_3^{(t)} + \dots + X_i^{(t)} + \dots + X_n^{(t)} - Q^{(t)} \\ C^{(t)} - \sum_{i=1}^n U_{i1}^{(t)} X_i^{(t)} \\ I^{(t)} - \sum_{i=1}^n U_{i2}^{(t)} U_{i3}^{(t)} \end{array} \right\}^T \quad (10)$$

其次，求解得出 $\nabla f(X) = \nabla f = \frac{\partial f}{\partial (X_i^{(t)})} = \left[\frac{\partial f}{\partial (X_i^{(t)})} \cdot \frac{\partial (X_i^{(t)})}{\partial (U_{ij}^{(t)})} \right]_{n \times m}$

另求得 $\nabla g(X) = \nabla g = \left[\frac{\partial g_1}{\partial (X_i^{(t)})}, \frac{\partial g_2}{\partial (X_i^{(t)})}, \frac{\partial g_3}{\partial (X_i^{(t)})} \right] = \left[\frac{\partial g_k}{\partial (X_i^{(t)})} \cdot \frac{\partial (X_i^{(t)})}{\partial (U_{ij}^{(t)})} \right]_{n \times 3m} \quad (k=1,2,3)$

且令： s_k 为信赖域试探步， S_k 为信赖域半径， B_k 为 $\nabla^2 f(X_k)$ 的近似值。最后，构造信赖域二次规划模型，可得到：

$$\min \phi(s_k) = \nabla f^T(X_k) s_k + \frac{1}{2} s_k^T B s_k \quad (11)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} g(X_k) + \nabla g(X_k)^T s_k \geq 0 \\ \|s_k\| < S_k \end{cases} \quad (12)$$

根据不等式约束信赖域方法的基本思想，模型的算法步骤如下：

1) 建立各项产量与其对应的影响因素的关联关系，运用动态规划或预测方法确定初始值 X_0 ，产量的上下界 $a_i^{(t)}, b_i^{(t)}$ 及 $Q^{(t)}, A^{(t)}, B^{(t)}$ ；

2) 确定初始点以及各个计算参数：

$$X_0 = (X^{(t)}, U_j^{(t)})_0, B_0 = I, S_0 = \|\nabla f^T(X_0)\|_2, \xi = 10^{-6}, k = 0; \quad (13)$$

3) 利用信赖域二次规划模型(SQR)求解 s_k 。试探步 s_k 的确定，采用 Levenberg-Marquardt 法求解：确定一个阻尼因子 μ_k ，利用运算式 $s_k = -(B_k + \mu_k I)^{-1} \nabla f_k$ ，求解出 s_k ，若 $\|s_k\|_2 < \xi$ ，则迭代停止。

4) 判断 $(B_k + \mu_k I)$ 是否正定，若正定则 $\mu_{k+1} = \mu_k$ ，继续；否则， $\mu_{k+1} = \nu \mu_k$ ，转步骤 3；

5) 计算 $r_k = \frac{[f(X_k + s_k) - f(X_k)]}{\phi(s_k)}, R_k = \min[g_1(X_k + s_k) + g_2(X_k + s_k) + g_3(X_k + s_k)]$ ；

6) 令 $X_{k+1} = \begin{cases} X_k + s_k & (R_k \geq 0 \text{ 且 } r_k > 0) \\ X_k & (R_k < 0 \text{ 且 } r_k \leq 0) \end{cases}$

$$\text{则 } S_{k+1} = \begin{cases} \max(2S_k, 4\|s_k\|) & (R_k \geq 0 \text{ 且 } r_k \geq 0.75) \\ S_k & (R_k \geq 0 \text{ 且 } 0.25 \leq r_k < 0.75) \\ \frac{S_k}{4} & (R_k < 0 \text{ 且 } r_k < 0.25) \end{cases}$$

7) 利用 BFGS 方法修正产生 B_{k+1} ：

$$B_{k+1} = B_k + \frac{(\nabla f_{k+1} - \nabla f_k)(\nabla f_{k+1} - \nabla f_k)^T}{s_k^T (\nabla f_{k+1} - \nabla f_k)} - \frac{B_k s_k s_k^T B_k}{s_k^T B_k s_k} \quad (14)$$

令 $k = k + 1$ ，转步骤 3；

8) 计算得出最优解 X^* ，将其代入目标函数得到最优值。

上述步骤中，对于阻尼因子 μ_k 的确定存在着一些困难，但原则上 μ_k 应该选取小的正数，通常情况下可以取 $\mu_0 = 0.01$ 。但要根据实际应用而定。在迭代过程中， ν 为 μ_k 的缩放系数，且 $\nu > 1$ (通常取 4)。

5. 结论

本文以长春市疫情期间的实际数据为例，构建 TOPSIS 综合评价模型结合层次分析法对投放点的数量和集群思想进行合理分配。TOPSIS 评价模型避免了数据的主观性，能够很好的刻画多个影响指标的综合影响力度，即适用于小样本指标，也适用于多评价单元，较为灵活方便。其次通过枚举法和聚类思想对有序网络图的上游点、中游点和下游点进行坐标确定与统计，绘制出 9 个区有序网络散点图；通过构建单目标非线性规划模型对卡车投送预案进行优化，单目标规划建立的模型能与实际紧密联系，本文所提出的模型可以使疫情防控人员结合实际情况对所提问题进行求解，通用性，推广性较强。

参考文献

- [1] 中共中央政治局常务委员会召开会议研究病毒感染的肺炎疫情防控工作中中央总书记主持会议[N]. 人民日报, 2020-01-26(01).
- [2] 许露露. 新冠肺炎疫情传播的时空计量建模与风险评估[D]: [硕士学位论文]. 蚌埠: 安徽财经大学, 2021.
- [3] 金启轩. 中国新冠肺炎疫情预测建模与理性评估[J]. 统计与决策, 2020, 36(5): 11-14.
- [4] Kermack, W.O. and McKendrick, A.G. (1991) A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics. *Bulletin of Mathematical Biology*, **53**, 57-58.
- [5] 刘乙阳, 黄洋, 尹澜瑜, 杨双双, 朱文龙. 基于 SIR 模型的流行性传染病传播趋势预测研究[J]. 高师理科学刊, 2021, 41(7): 37-41.
- [6] 隋志超. 基于多目标规划模型的新疆地区内陆港选址研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连海事大学, 2019.
- [7] 张圆圆, 叶鹏. 油田开发多年规划单目标产量优化模型及应用[J]. 断块油气田, 2009, 16(6): 59-61+75.