

基于应急资源集散中心选址优化的疫情隔离分区策略

牟笛^{1,2}, 陈安^{1,2*}

1. 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190

2. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要 为探索区域最优的疫情隔离方式,以最小化距离为目标,利用遗传算法优化应急资源集散中心位置,计算按行政分区隔离、按经纬度欧式距离 k 均值聚类隔离、按经纬度网格隔离的全局距离,探讨最便捷、高效的疫情隔离分区方式。研究结果显示,按行政分区进行隔离划分全局距离最长,按 k 均值聚类进行隔离划分全局距离最短; k 均值聚类或网格划分下,分区越多,全局距离越短。在进行疫情隔离时,城市中心与边缘区域应急资源集散中心应区别建设,行政区边缘的应急需求点应就近划分,隔离区域内可进行二次精细分区以便管理。

关键词 疫情隔离;应急资源;应急物流;遗传算法

国家发展和改革委员会于2015年印发了《应急保障重点物资分类目录》将应急保障重点物资分为现场管理与保障、生命救援与生活救助、工程抢险与专业处置3个大类。与公共卫生事件相关主要包括现场监测、应急通信和指挥、紧急运输保障、能源动力保障、人员安全防护、紧急医疗救护、人员庇护、饮食保障、污染清理、其他专业处置等物资^[1]。新冠肺炎疫情刷新了人类对突发公共卫生事件的认知。与一般物流优化问题相比,公共卫生事件下

的物流优化需要更多地考虑疾病传播与预防、社会分配公平、物资存货控制等问题。面向非常规突发公共卫生事件,研究人员致力于探索在空间、时间、需求上条件更加极端的应急资源配送策略。

突发公共卫生事件中,应急资源的可达性在时空上存在显著差异。有研究发现,新冠肺炎疫情期间,在时间方面,与夜间医疗相比,居民在上午高峰时段获得的医疗机会更少。在空间方面,医疗资源的可达性随着与市中心距离的增加而下降。人口

收稿日期:2021-08-16;修回日期:2022-02-07

基金项目:国家民族事务委员会民族研究青年项目(2021-GMC-013);中国科学院科技战略咨询研究院院长青年基金(E2X0571Q);中国慈善联合会“敦和·竹林计划”青年学者研究课题(2020ZLJH-23);国家社会科学基金重点项目(19AZD019)

作者简介:牟笛,助理研究员,研究方向为风险与应急管理、智库理论与方法,电子信箱:mudi@casisd.cn;陈安(通信作者),研究员,研究方向为现代应急管理、智库理论与方法,电子信箱:anchen@casisd.cn

引用格式:牟笛,陈安. 基于应急资源集散中心选址优化的疫情隔离分区策略[J]. 科技导报, 2022, 40(9): 53-59; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2022.09.006

迁移会导致一些地区医疗资源的供给与人口密度之间的不平衡。居民就医情况在中心城区主干道呈现高集聚格局,外围区域呈现低集聚趋势^[2]。应急物流包括仓库选址、物资储备、需求预测、配送运输、信息反馈多个环节。应急物流优化通常以最小化运输路径、时间、能耗为目标。应急物流优化的研究过程以评价指标、优化算法、试算数据为核心。研究人员根据研究问题的边界条件和自身的知识储备情况,构建不同的数据模拟环境以完成应急物流优化实践。

应急物流优化的评价指标根据所要完成的优化目标选取和设置。应急资源点和应急需求点的数量、位置、距离是用于计算的核心要素。应急资源点是应急资源集中存储的空间位置。应急需求点是有应急资源需要的空间位置。在实际的应急管理活动中,应急资源点和应急需求点具有具体的经纬度值。应急资源点通常表现为应急资源集散中心,是一个区域人力、物力、财力、信息等集中和散发的中心点。应急需求点是受突发事件影响的人、物等承灾体所处的地理位置。在进行应急物流优化研究时,通常会将应急资源点和应急需求点转化为坐标系中的坐标点。

现有研究通常会考虑其他影响因素。从应急管理角度,突发事件的时间、空间、烈度、发展规律会影响应急资源的分配^[3-5]。应急资源点的建设成本、服务半径、耐久度和应急资源的可获取性也是需要考量的因素^[3-4,6-7]。从应急需求点的角度,时间、空间、需求量、服务对象满意度也会影响应急资源分配的效果^[3,5-6,8-13]。有研究将运输成本、交通通达度、综合环境影响等社会因素也纳入优化指标体系^[4,6-7,10,14-16]。新冠肺炎疫情应急物流优化的研究中,遗传算法^[3,5,9,15]、混合蛙跳算法^[7]、免疫算法^[8]、变邻域算法^[10]、模拟退火算法^[11]、深度优先搜索法^[16]、反向传播神经网络算法^[16]、蚁群算法^[17]、禁忌算法^[17]、线性规划算法^[6,18-19]、非线性规划算法^[12-14,20]、层次分析法^[11,19]、 k 均值聚类算法^[21]及其改良、混合算法较为常见。

限制疫情传播、保证资源供应是对新冠肺炎疫情进行应急管理的核心目标。全面隔离能够有效限

制疫情传播,是新冠肺炎疫情最为突出的应急管理行为,但隔离会造成区域物资交换阻隔甚至断绝,如何在隔离情况下保障应急资源供应成为区域规划难点。隔离分区方式是指应急管理中划分隔离区域的方法和形式,不同的隔离分区方式会对应急物流造成影响。本研究关注疫情隔离分区方式对应急资源集散中心选址的影响,以最小化距离、最优化选址为目标,通过模拟试算,提出如何进行疫情隔离分区及应急资源集散中心建设的策略和建议。

1 研究方法

以最小化应急资源集散中心到区域内所有应急需求点的距离为目标,利用遗传算法进行优化,找到最适合建设应急资源集散中心位置的经纬度值。利用中国北京和美国华盛顿哥伦比亚特区爱彼迎(Airbed and Breakfast, Airbnb)民宿的坐标数据进行模拟试算。北京和华盛顿哥伦比亚特区分别为中国和美国的首都,但二者在面积和人口上有较大差异:北京约 16410 km²,常住人口约 2189 万人;华盛顿哥伦比亚特区面积约 177 km²,常住人口约 70 万人。通常情况下,民宿建设在一个区域相对人流量大、经济繁华的位置,并且地处居民区内部。本研究以民宿数据的经纬度点代替居民区内的应急需求点的坐标值,设 1 经度或 1 纬度为 1 距离单位。

预设 1 个区域仅有 1 个应急资源集散中心。设 $x[x_a, x_b]$ 为某区域内一个应急需求点的经纬度坐标投影,该区域内应急需求点经纬度坐标投影的集合为 $\{x_1[x_{1a}, x_{1b}], x_2[x_{2a}, x_{2b}], \dots, x_n[x_{na}, x_{nb}]\}$ 。设 y 为全局距离。为求解

$$\begin{aligned} \min y = & \sqrt{(x_{na} - x_{(n-1)a})^2 + (x_{nb} - x_{(n-1)b})^2} + \\ & \sqrt{(x_{(n-1)a} - x_{(n-2)a})^2 + (x_{(n-1)b} - x_{(n-2)b})^2} + \\ & \dots + \sqrt{(x_{2a} - x_{1a})^2 + (x_{2b} - x_{1b})^2} \\ \text{s.t. } & x \in [x_1, x_n] \end{aligned} \quad (1)$$

在保证完备性、健全性、非冗余性的前提下,将约束条件范围内的数据进行编码,定义适应函数和

适应值,确定入选概率和选择标准,产生种群,进行交叉和变异^[22-23]。设单次样本数量为20,变异率为0.001,迭代次数50为终止条件,寻找应急资源集散中心最优位置经纬度值 $x_{best}[x_{best a}, x_{best b}]$ 。在找到 $x_{best}[x_{best a}, x_{best b}]$ 值后,计算该值到分区内所有点的距离之和,得到全局总距离 y_{total} 。利用python语言scikit-opt库实现遗传算法,寻找最优应急资源集散点;利用scipy库pdist函数计算区域和全局距离。重复3次上述数据实验过程,取 y_{total} 值最小的一组数据作为最终结果。

新冠肺炎疫情在应急管理上较为突出的特点是区域隔离。本研究将一个城市中的数据点按照5种方式进行隔离分区。

- 1) district: 按行政分区隔离(北京16个区域,华盛顿哥伦比亚特区34个区域);
- 2) kmeans16: 经纬度欧式距离 k 均值聚类划分16个区域;
- 3) kmeans25: 经纬度欧式距离 k 均值聚类划分25个区域;

- 4) grid16: 区域经纬度4×4网格划分16个区域;
- 5) grid25: 区域经纬度5×5网格划分25个区域。

通过对5种不同的分区方式进行对比,讨论在疫情需要隔离的情况下,采取哪种隔离分区方式全局总距离最短,应急资源配送最节省、高效。在此基础上,结合区域疫情隔离需求和空间特点,提出疫情隔离分区和应急资源集散中心选址的策略。

2 分析结果

虽然北京和华盛顿哥伦比亚特区城市面积和人口数量相差悬殊,但二者的分析结果体现出同一性。观察两城市行政分区中的数据点可以发现,城市中心区域的数据点分布紧密,城市边缘区域的数据点分布分散(图1)。进行 k 均值聚类或网格划分时,部分行政分区的数据点会出现小部分数据划归到其他 k 均值聚类或网格分区内的现象。

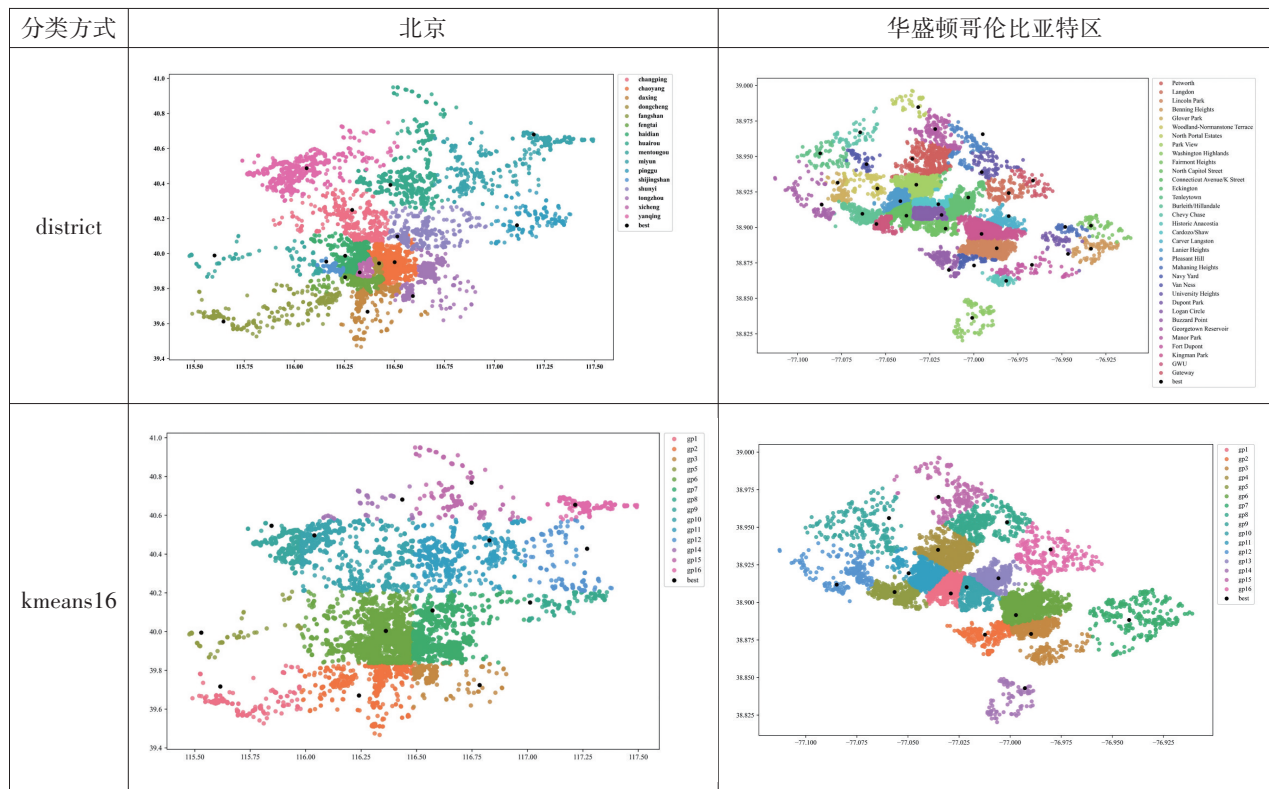


图1 最优应急资源集散中心位置模拟

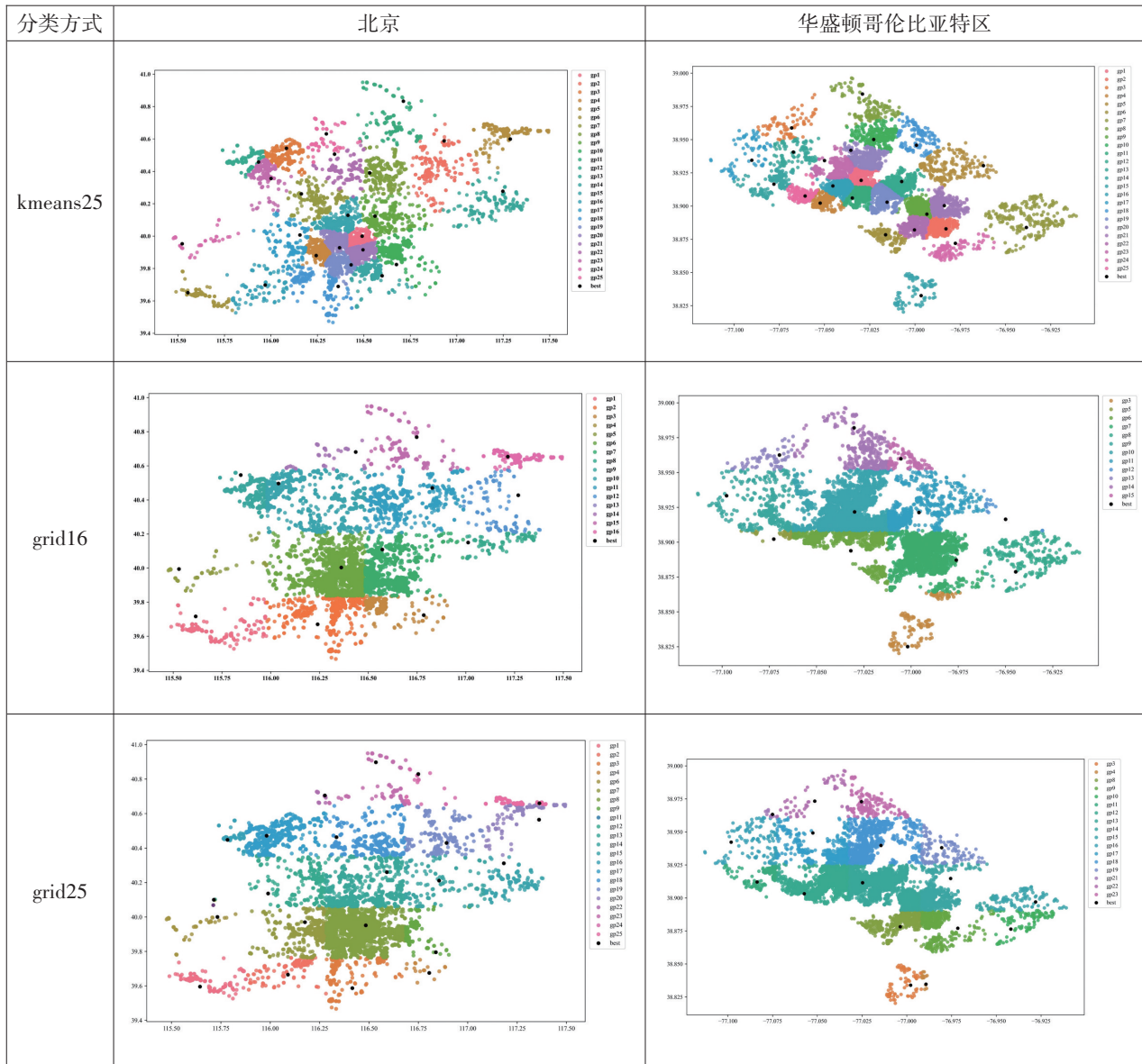


图1 最优应急资源集散中心位置模拟(续)

在5种分区方法中,按行政分区进行隔离划分全局距离最长,按经纬度欧式距离 k 均值聚类进行隔离划分全局距离最短(表1)。经纬度欧式距离 k 均值聚类或网格划分下,分区越多,全局距离越短。

3 讨论

3.1 城市中心与边缘区域应急资源集散中心区别建设

模拟数据显示,应急需求点存在城市中心区域

表1 最优应急资源集散中心到应急需求点全局距离

分类方式	北京	华盛顿哥伦比亚特区
district	3991.74	99.25
kmeans16	3386.24	79.18
kmeans25	2560.43	77.28
grid16	3708.21	92.02
grid25	3283.22	86.03

分布紧密、边缘区域分布分散的特点。这种应急需求的空间分布特点在相关研究中已有展现。有研

究表明,疫情期间居民就医向城市中心高度集聚^[2]。以北京市海淀区、怀柔区、门头沟区实际行政区划和人口分布情况为例,海淀区面积约431 km²,人口密度8074人/km²,模拟数据中应急需求点1966个;怀柔区面积2123 km²,人口密度195人/km²,模拟数据中应急需求点1778个;门头沟区面积约1451 km²,人口密度222人/km²,模拟数据中应急需求点229个。海淀区的全局距离为131.76经纬度,怀柔区的全局距离为825.24经纬度,门头沟区的全局距离为118.91经纬度。

海淀区和怀柔区应急需求点数量相近,但海淀区的人口密度远大于怀柔区。怀柔区的全局距离远大于海淀区,说明怀柔区的应急资源集散中心为更少的居民服务,但在应急资源的配送过程中消耗了远大于海淀区的距离成本。门头沟区与怀柔区的面积、人口密度较为接近,但模拟数据中的应急需求点较少。门头沟的全局距离与海淀区相似,远小于怀柔区。这种现象表明,对于怀柔区面积大、人口密度低、资源需求点多的隔离区域,可以考虑减少应急需求点的数量。

3.2 行政分区边缘应急需求点就近划分

本研究中的 k 均值聚类是根据模拟数据中应急需求点经纬度的欧式距离进行计算的,因而在距离上本身具有集群性,所计算出的全局距离比按照行政分区、网格分区要更短。进行 k 均值聚类或网格划分时,部分行政分区的需求点会因为地理位置更近的原因划分至其他区域,特别是存在某行政分区内极少数需求点划分进其他分区的情况。以美国华盛顿哥伦比亚特区的Eckington区域为例,该区的应急需求点主要集中于区域的右侧,区域中间存在空白区域,左侧零星分布有几个需求点。在进行 k 均值聚类划分和网格划分时,左侧的几个零星分布点均划分进其他区域。该区域按行政分区全局距离为3.32经纬度。利用 k 均值算法聚为16类后,该区域排除左侧零星分布的几个需求点的gp13区全局距离为2.86经纬度。在排除侧零星分布的几个需求点后,该区域的应急资源配送距离成本明显减小。

在实际应急管理中,按照行政区划进行隔离是

最常见的方式。市、区、县、街道、乡镇、社区、村等都是可以用于隔离的行政区划范围。同一行政区划范围内,产业结构、居民构成、设施条件、风俗习惯等基础通常相近。应急管理体系的设置通常也与行政区划相适应。因而,按照行政区划进行隔离是成本低、效率高的方式,有利于应急管理。本研究的计算结果反映出,将地理位置相近的区域划分为一个隔离区域的方法有利于应急物资的集散、配送,也能够提高应急管理的效率和效果,但这种方法需要较高的应急联防联控的能力。区域应急管理的经验表明,没有丰富的经验、充足的准备、统一的部署,会影响应急响应效果^[24]。因而,在实践中需要系统分析突发事件和应急管理的实际情形,选择最为合理的隔离分区方式。政策层面知识的沟通有利于抗疫,可以通过构造利益相关者网络、创建共同交流、整合观点来实现疫情中的应急联防联控^[25]。面对公共卫生突发事件,利益攸关方之间、区域之间应该尽早进行沟通和协调^[26]。有研究显示,新冠肺炎疫情给区域应急管理和医疗保健造成了巨大压力。有些地区为了配合疫情隔离的需求,将原有的公共卫生应急方式进行了改良^[27]。为了应对新冠肺炎疫情所构建的应急协同网络比区域原有应急网络具有更加紧密、聚集、通畅的结构^[28]。这与在疫情高度紧急的情况下,全社会多应急主体的参与和配合密不可分。城市应急管理中,可以借由疫情所构建起的公共卫生协同应急网络优化应急资源的集散和分配,提高城市的整体应急协作能力。

3.3 隔离区域内进行二次精细分区

研究结果显示,经纬度欧式距离 k 均值聚类或网格划分下,分区越多,全局距离越短。按经纬度欧式距离 k 均值聚类或网格划分,将城市分为25个分区比分为16个分区全局距离更短。在按大区进行隔离的内部,仍可以分为若干个更细致的隔离区进行管理,建立更小的应急资源集散点。单以配送距离看,适当的精细化分区反而可以降低距离成本。

应急管理中的精细作业一直被认为是有效和节约的手段。有研究认为,新冠肺炎疫情中,明确的治理措施、直接的宣传方式、多种多样的社交手

段有利于增强区域的抗疫信心,能够提升抗疫的整体效果^[29]。资源充足、结构合理、负责、公平的公共卫生系统能够更好地满足居民需求^[30]。中国在公共卫生应急体系建设、监测和预警系统、物资管理系统方面已经有长足的发展,但仍需要从提高应急指挥效率、卫生人员素质、应急管理资金等方面加强疫情应对^[31]。从隔离分区的角度进行疫情应对的精细化管理,应该为应急管理资源供应提供调配空间,便于应急主体查找、联系、利用应急资源。精细化分区和管理能够科学分配应急资源的种类、数量,提高应急管理效率,增强应急管理工作的科学性、协调性、有效性和适应性。

4 结论

利用遗传算法对不同隔离分区情况下最优应急资源集散中心选址到应急需求点的全局距离进行计算,探索最便捷、高效的疫情隔离分区方式。通过对中国北京和美国华盛顿哥伦比亚特区的数据进行模拟试算,分析结果体现出同一性,不受区域形态、面积、人口等的影响。

在模拟试算数据中,应急需求点在城市中心区域分布紧密、边缘区域分布分散,区域中心与边缘应急资源集散中心可以进行区别建设。对于面积大、人口密度低、资源需求点多的隔离区域,可以考虑减少应急需求点的数量。

进行 k 均值聚类或网格划分时,部分行政分区的数据点会出现小部分数据划归到其他 k 均值聚类或网格分区内的现象,并且排除行政分区边缘的数据点后,全局距离会减小。在具有充足区域应急协作能力的前提下,在进行隔离分区时,可以考虑按照地理位置的相近程度进行划分。

k 均值聚类或网格划分下,分区越多,全局距离越短。从配送距离的角度看,适当的精细化分区反而可以降低距离成本。在进行隔离分区时,应充分满足应急资源的调配空间,进行精细化作业,提高隔离的科学性。

本研究的研究方法可以进一步推广到其他各种自然条件、规划形态、社会背景下的城市中,以探

讨隔离政策和应急资源集散中心选址之间的关系。更多的算法及其改良、混合算法可以应用到不同隔离分区情况下最优应急资源集散中心选址研究中,与本研究利用遗传算法得出的结果进行对比和讨论。需要大规模隔离的城市应急管理实践中,充分考虑城市应急资源点和需求点的数量、位置、距离量化关系,能够降低成本、提高效率,更好地满足紧急状态下的应急需求。

参考文献 (References)

- [1] 国家发展和改革委员会. 国家发展改革委办公厅关于印发应急保障重点物资分类目录(2015年)的通知[EB/OL]. (2015-04-07)[2021-05-05]. https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/jgsj/lyxj/sjdt/201504/t20150410_987672.html.
- [2] Dong L, Lv Y, Sun H, et al. GPS trajectory-based spatio-temporal variations of traffic accessibility under public health emergency consideration[J]. *Journal of Advanced Transportation*, 2021, 2021: 8854451.
- [3] 刘明, 连靖萱. 基于 COVID-19 的动态应急物流网络优化研究[J]. *南京理工大学学报(社会科学版)*, 2020, 33(5): 57-64.
- [4] 李刚, 林运卫. 突发公共卫生事件方舱医院建设选址决策研究[J]. *科技促进发展*, 2020, 16(12): 1585-1593.
- [5] 刘明, 李颖祖, 曹杰, 等. 突发疫情环境下基于服务水平应急物流网络优化设计[J]. *中国管理科学*, 2020, 28(3): 11-20.
- [6] 孟燕萍, 申慢慢. 考虑灾后道路恢复情况下动态应急物资选址问题[J]. *重庆交通大学学报(自然科学版)*, 2019, 38(1): 89-96.
- [7] 赖志柱, 王铮, 戈冬梅, 等. 多目标应急物流中心选址的鲁棒优化模型[J]. *运筹与管理*, 2020, 29(5): 74-83.
- [8] Wang C, Deng Y, Yuan Z, et al. How to optimize the supply and allocation of medical emergency resources during public health emergencies[J]. *Frontiers in Physics*, 2020, 8: 383.
- [9] 张杏雯, 倪静. 公平约束下的应急物资配送模型及算法[J]. *统计与决策*, 2020, 36(7): 179-182.
- [10] 郝蒙浩, 张静, 赵秋红, 等. 基于 P-center 问题的国家级应急物资储备设施选址优化布局研究[J]. *自然灾害学报*, 2019, 28(3): 123-129.
- [11] 李金泽, 唐芑. 基于城市大数据的应急服务设施多目标优化选址模型研究[C]//数智营造: 2020 年全国建筑院系建筑数字技术教学与研究学术研讨会论文集. 北京: 高等学校建筑学专业教学指导分委员会建筑数字技术教学工作委员会, 2020: 188-194.
- [12] 张富. 应急避难场所选址问题的多目标规划模型及算

- 法[J]. 数学的实践与认识, 2019, 49(15): 283-289.
- [13] 胡晓伟, 宋浪, 杨滨毓, 等. 重大突发公共卫生事件下城市应急医疗物资优化调度研究[J]. 中国公路学报, 2020, 33(11): 55-64.
- [14] 陈镜羽, 张立. 疫情下配送中心选址模型构建在陆海新通道应急冷链物流中的研究[J]. 物流科技, 2020, 43(7): 147-150.
- [15] 赵建有, 韩万里, 郑文捷, 等. 重大突发公共卫生事件下城市应急医疗物资配送[J]. 交通运输工程学报, 2020, 20(3): 168-177.
- [16] 郑琰, 黄兴, 潘颖. 城市应急物流中心多目标选址模型及方法研究[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2020, 34(6): 239-246.
- [17] Liu Z, Li Z, Chen W, et al. Path optimization of medical waste transport routes in the emergent public health event of COVID-19[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2020, 17(16): 5831.
- [18] 赵炜娜, 韩瑞珠. 生物反恐中应急物资储备库选址优化研究[J]. 物流技术, 2009, 28(12): 158-161.
- [19] 姚红云, 牛凯. 应急物流中心选址与配送路径优化研究[J]. 物流科技, 2019, 42(3): 35-39.
- [20] 方磊, 何建敏. 城市应急系统优化选址决策模型和算法[J]. 管理科学学报, 2005, 8(1): 12-15.
- [21] 倪卫红, 陈太. 基于聚类重心法的应急物流配送中心选址[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2021, 43(2): 255-263.
- [22] Holland J H. Adaptation in natural and artificial systems [M]. London: The MIT Press, 1992.
- [23] Yang X. Nature-inspired metaheuristic algorithms[M]. Frome: Luniver Press, 2010.
- [24] Capano G. Policy design and state capacity in the COVID-19 emergency in Italy[J]. Policy and Society, 2020, 39(3): 326-344.
- [25] Casalegno C, Civera C, Cortese D. COVID-19 in Italy and issues in the communication of politics[J]. Knowledge Management Research & Practice, 2021, 19(4): 459-467.
- [26] Mitchell S H, Bulger E M, Duber H C, et al. Western Washington State COVID-19 experience[J]. Journal of American College of Surgeons, 2020, 231(3): 316-324.
- [27] Toleikienė R, Rybnikova I, Juknevičienė V. Whether and how does the crisis-induced situation change e-leadership in the public sector? [J]. Transylvanian Review of Administrative Sciences, 2020, 11: 149-166.
- [28] Liu J, Hao J, Shi Z, et al. Building the COVID-19 collaborative emergency network[J]. Natural Hazards, 2020, 104: 2687-2717.
- [29] Agasisti T, Soncin M. Higher education in troubled times [J]. Studies in Higher Education, 2021, 46(1): 86-95.
- [30] Benjamin G C. Ensuring health equity during the COVID-19 pandemic[J]. Revista Panamericana de Salud Pública, 2020, 44: e70.
- [31] Cao Y, Shan J, Gong Z, et al. Status and challenges of public health emergency management in China related to COVID-19[J]. Frontiers in Public Health, 2020, 8: 250.

A study on epidemic isolation patterns based on optimal locations of emergency resource centers

MU Di^{1,2}, CHEN An^{1,2*}

1. Institutes of Science and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract The purpose of this study is to explore the optimal regional epidemic isolation pattern by optimizing the locations of emergency resource centers. To aim at minimizing the distance, a genetic algorithm is used to obtain the global distances under isolation patterns by administrative division, k -means clustering and grid partition, respectively. The results show that the global distance of the isolation by administrative division is the longest while the global distance of the isolation by k -means clustering is the shortest. Under the isolation by the k -means clustering or the grid partition, the global distance can be shortened if there are more partitions. During the epidemic isolation, emergency resource centers in the central or on the edge of an area should be constructed differently. Emergency demand points on the edge of an administrative district should be divided by the nearest distance. There could be delicacy partitions within the isolated areas for better management.

Keywords epidemic isolation; emergency resource; emergency logistics; genetic algorithm ●



(责任编辑 傅雪)