

文章编号:1003-207(2011)06-0088-04

层次型应急设施布局模型及其应用

王 铮^{1,2}, 廖悲雨¹, 隋文娟¹

(1. 华东师范大学教育部地理信息重点实验室, 上海 200062;

2. 中国科学院科技政策与管理科学研究所, 北京 100080)

摘 要: 应急设施的特殊性决定了应急设施布局作为特殊的设施布局问题, 必须更加注重及时性。应急服务的级别决定应急布局模型的考虑因素, 现实中往往同时布局多个层次的应急设施, 本文基于一个 p -中心重心的混合模型, 建立了层次型应急设施布局模型。根据应急服务的真实情况, 该模型对距离的测算进行了改进, 以交通网络距离代替欧氏距离。最后, 将其应用于上海市上海某区的医疗设施布局。

关键词: 设施区位; 应急设施; 层次型模型

中图分类号: C931 **文献标识码:** A

1 引言

设施布局是城市服务的重要问题, 也是国土管理的重要问题。其核心内容是在现有设施、市场域、需求等已知的情况下, 确定一个或多个新设施位置的问题^[1]。也可以被理解为区域中设置一个枢纽城市的区位选择。在城市规划中, 应急设施布局作为设施布局的研究前沿, 着重解决提供应急服务的设施如何布局的问题。2008年的汶川大地震、2003年的SARS、1998年的特大洪水等, 突现了应急突发事件对国民经济的巨大冲击, 医院救护系统等应急服务部门如何在短时间内提供服务, 成为现有应急管理服务的服务能力。如何科学合理地布局应急设施, 提高应急系统的管理水平, 已成为设施区位论学者研究的重点, 也是政府及公共服务部门日益关注的领域。

第一个应急设施布局模型是集合覆盖模型^[2,3]。这个模型主要是计算如何设置站点实现以最少的设施点完全覆盖需求点。这主要是以最小的成本来实现应急设施对所有人口的覆盖, 而没考虑

如果一个设施所涵盖的区域中同时出现两个或多个需求点需要响应的情况。Marks 和 Thrall (1992) 将成本作为搜寻医院布局位置的基础, 为医院的选址规划提供决策支持^[4]。Valdimir 和 Charles (1994) 在传统的确定性集合覆盖模型的基础上, 引入了随机性因素, 建立与应急设施覆盖有关的随机模型^[5]。Sydney 和 Lisa (2000) 对香港的医院应急设施布局提出了优化框架, 该研究成果已经成功的运用于香港医院管理局^[6]。Noon 和 Hankins (2001) 基于数据挖掘和知识发现的方法, 利用 GIS 建立了卫生服务设施的布局决策支持系统^[7]。周天颖和简甫任 (2001) 针对避难场所因时间序列而分为紧急避难场所、临时避难收容场所、中长期收容场所, 进行不同的评估指标与区位选派的建立, 并对都市地区防灾基本单元规模, 建立灾害避难场所区位选派模式, 为防灾考量提供依据^[8]。崔丽丽和黄涛等 (2001) 基于人工神经网络算法的基础上, 实现了多元韦伯区位模型。最后利用该模型对上海浦东新区两个居民新村的公共服务设施布局进行了研究, 建立了一个简单的公共服务设施规划决策支持系统^[9]。Luis (2003) 在 MCLP (maximal covering location problem) 模型的基础上, 建立了 HCLP (hierarchical covering location problem) 模型, 这是对 MCLP 模型的两层推广^[10,11]。张颖, 王铮等 (2006) 以韦伯型设施区位的可计算模型为基础, 对上海市松江区新桥镇社会事业对应公共设施进行布局, 为新桥镇社会事业规划提供决策依据^[12], 在涉及医院管理时, 他们遭遇了两层问题。设施需要分

收稿日期: 2010-05-25; 修订日期: 2011-10-08

基金项目: 中国科学院创新工程重大项目 (kzcx1-yw-06-05-03); 国家自然科学基金重点资助项目 (70933002)

作者简介: 王铮 (1954—), (汉族) 男, 云南陆良人, 中科院科技政策与管理科学研究所研究员, 华东师范大学博士生导师, 研究方向: 政策模拟、地理计算、区域科学与管理研究。

层,以完成各司其职的职能。就如医院某些大型设备不是经常需要的,只需要在高层医院具备。如果设施不分层,或者造成低级医院不堪重负,或者导致资源浪费。分层设施,这是一个社会问题,不是区位问题。实际上在应急管理中这个问题更为突出,Ceyhun 和 Hasan 等(2007)认识到这个问题,使用 CMCLP (capacitated maximal covering location problem), LMOLP (lexicographic multi-objective linear programming), FGP (fuzzy goal programming), WA-FGP-T (weighted additive fuzzy goal programming) 和 A-FGP-C (additive fuzzy goal programming) 四种模型对应急设施区位的进行求解,并对比了不同模型下,一次覆盖和后备覆盖的优化程度^[13]。

应急设施的特殊性决定了应急设施布局模型必须考虑更多的因素:一方面,应急设施布局属于公共设施布局的范畴,它以社会整体效用的最大化为目标,即尽量使所有需求都得到满足;另一方面,由于应急服务需要保证及时性,即从需求点到设施点的时间有限制。应急服务的级别决定应急布局模型的考虑因素,现实中往往需要同时布局多个层次的应急设施,如医疗体系中存在提供急救等普通治疗服务的医疗点和提供高层治疗服务的大型医院,它们的服务级别和考虑因素不同,因此需要利用不同的模型去求解。针对这种情况,本文设计了层次型应急设施模型,以期更好地针对不同层次的应急设施,实现各个层次应急服务的目标。

本文的应急设施模型是一个层次型系统,系统中有两种层次的应急设施:高层设施和低层设施。低层设施提供最为基础的应急服务,抢救的第一线。而高层设施不但能提供普通的应急服务,还能为低层设施提供后备支持的服务以及一些其他特殊服务。所以本文采用层次型的求解模型来求解该类设施布局的问题。

2 层次型应急设施区位模型

以医疗体系为例,它存在着两个等级的服务设施,它们有明确的分工,一种是提供急救等普通治疗服务,另一种是提供高层治疗服务,服务对象一般来自那些低层设施无法治愈的病患。由于提供服务不同,医疗设施布局考虑的因素也就不同。低层医疗设施主要提供的是普通的应急医疗服务,需要考虑的是对患者的抢救时间,即尽可能多地缩小患者与医院之间的距离,可以使用 p -中心模型来解决其

布局问题。高层医疗设施为低层设施所提供高层医疗服务以及一些其他特殊服务并不是应急服务,其需要考虑的是以最小的运输成本来为这些低层设施提供服务,缩短患者转移的加权时间总和,可以利用 p -重心模型来解决其布局问题。本文正是采用这种 p -中心重心的混合模型来解决层次应急设施布局的问题。具体步骤如下:

(1)采用 p -中心模型来搜索低层次的医疗设施布局。

(2)从选定的低层设施中使用 p -重心模型选出 p 个高层设施,所有低层设施到高层设施的距离最短。

2.1 低层设施布局—— p -中心模型

p -中心问题就是在已知的候选设施点中,搜索 p 个设施点的布局位置使距离最远的需求点到其距离最近设施的距离最小化,以更公平的方式提供公共服务。 p -中心问题的模型公式表达如下^[14]:

$$\min Z = D \quad (1)$$

其中 D 表示最远需求点到其最近的设施的距离,并满足以下约束条件:

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$x_{ij} \leq y_j \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_j y_j = p \quad (4)$$

$$D \geq \sum_j d_{ij} x_{ij} \quad (5)$$

$$x_{ij}, y_j \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (6)$$

模型中 J 表示可以建立设施的候选点集合。而 I 表示需求点集合。 y_j 表示候选设施点 j 是否被选为设施建立的地址,值为 1 时表示为选中,反之为零; x_{ij} 表示的是需求点 i 是否接受到候选设施点 j 的应急服务。而目标函数(1)式表示使需求点到其距离最近设施点的最大距离最小化;约束条件(2)式保证每个需求点 i 都能够接受服务,并且只被一个设施点 j 服务;约束条件(3)式禁止那些没有被选中的候选设施被光顾,即只有第 j 个候选设施点被选中,需求点 i 才有可能得到该设施的应急服务;约束条件(4)式则将设施数量限定为 p 个;约束条件(5)式则表示需求点到其距离最近的设施点的最大距离为 D ,权重因子 d_{ij} 刻画了 i, j 之间的铁路状况;(6)式表示 x_{ij} 和 y_j 取值范围。

2.2 高层设施布局—— p -重心模型

Ronald(2002)对多设施重心问题进行了研究^[15],利用 p -重心模型搜索 p 个设施的布局位

置,使需求点到设施点的加权距离总和达到最短,该模型的数学描述如下:

$$\min TC = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m E_{ij} d_{ij} \quad (7)$$

$$d_{ij} = \sqrt{(X_i - x_j)^2 + (Y_i - y_j)^2} \quad (8)$$

其中, E_{ij} 是需求点 i 对设施点 j 的需求量, n 是需求点总数, m 是设施点设立总数, d_{ij} 是需求点 i 到设施点 j 的欧式直线距离。

该模型的表达式(7)表示模型的目标是在欧式平面上,搜索设施的布局位置使后勤运输成本 TC 达到最小,表达式(8)为 d_{ij} 的计算方法。本文使用网络距离来替代欧式直线距离使模型的模拟情形能更贴近现实,即根据最短路径算法计算出搜索范围内备选点到需求点的最短网络距离,并通过矩阵计算搜索设施的最终布局点,以最小的成本实现高层设施对低层设施的服务。

3 实例分析

上海某区位于上海市市中心,区域面积 55.25 平方公里,是上海西部的陆上交通要道,总人口 85 万人(2003 年)。随着经济的发展,越来越多的人进入到上海某区,新的商业性及住宅性的建筑的大量出现,居民对上海某区的公共服务设施的要求,尤其是关系到如何保证这拥挤的城区的公共安全的应急设施服务的要求越来越高。这就需要更为科学化的应急设施布局体系来适应该地区的社会经济发展,为决策者提供决策支持服务。

本文的系统开发环境是可视化开发工具 Visual Basic,使用 ESRI 公司的 MapObjects 控件进行集成二次开发。由于该控件在支持网络数据的计算功能上有欠缺(虽然后期该公司又对 MapObjects 进行了扩展,增加 MoNetBroker2 这个网络分析模块,但是在网络计算中其节点无法添加权重),所以在利用 MapObjects 和 Visual Basic 开发模型时,需要对数据进行一定处理。

本文的基础数据包括上海某区的土地利用图和道路交通图。通过 ArcGIS 所提供的 Geometric Network 模块对道路交通图建立拓扑关系,形成两张有拓扑关系的图层:线图层和节点图层。线图层提供最短路径计算所需要的邻接矩阵,而节点图层则代表图论中的节点且带有不同的权重。

模型的计算方面,本文采用的是 Floyd(1962)以及 Kolesar 和 Walker(1974)贪婪算法对模型进行求解^[16,17]。Floyd 算法主要是利用道路的线图层

和节点图层来构建距离矩阵,来计算各个节点间在实际道路网络上的最短距离;Kolesar 和 Walker 贪婪算法根据 Floyd 算法所构建的最短距离矩阵,进行启发式搜索,搜索最优的布局点。系统搜索医疗应急设施布局的结果如图 1。在图 1 中,我们似乎看到右边的蓝色三角形布局点似乎位于一个人口点疏松区,其实不然,作为中心问题的应急设施布局点,是给定时间需要提供服务的,如果这种设施向东移,缺乏便捷的道路连通,难于完成应急响应。由此可见,道路因子 d_{ij} 是重要的。发过来如果没有应急要求,只有服务要求,设施的布局则会趋于人口密集处。这个问题也说明为什么应急设施布局需要分层。低层设施是按 p -中心原则布局的,高层设施需要用 p -重心原则布局。

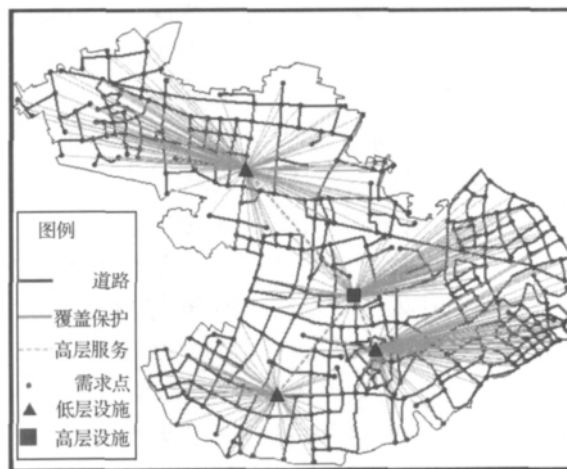


图 1 上海某区医疗设施布局程序计算结果图

4 结语

本文讨论了应急设施分层布局的压力,发展了以 P -中心重心混合模型为模型基础,的布局规划方法,即低层设施的布局采用 p -中心模型,提升应急系统的响应能力,而高层设施则采用 p -重心模型,降低应急系统提供后备服务成本。通过该模型与 GIS 软件开发相结合,开发出应急设施布局决策支持系统,并使用该系统对上海某区的应急设施布局提供决策支持,为应急设施的科学规划提供了量化的决策模型。应急设施点的建立需要大量资金的支持,而本文模型的结果不仅使应急设施系统的响应距离大大减少,还最大程度地降低了高层设施为低层设施提供后备服务的成本。

模型所使用的数据是道路网络距离,这相较传统欧式距离而言更接近真实情况。但是道路的拥挤

状况是会极大地影响到应急设施响应的时间,如何将其引入到应急设施区位模型,使其的运算环境更贴近事实,关于此方面的研究还有待深入。随着考虑因素的增多,应急设施布局模型的模拟环境将更贴近实际情况,对该领域的深入研究有助为最终的应急设施布局提供更为准确的决策支持。

参考文献:

- [1] Drezner, Z., Wesolowsky, G. O.. The Weber problem on the plane with some negative weights [J]. *Infor. Journal*, 1991, 29: 87—99.
- [2] Toregas, C. R., Swain, C. R., Bergman, L.. The location of emergency service facilities[J], *Operations Research*, 1971, 19: 1363—1373.
- [3] Toregas, C., ReVelle, C.. Binary logic solution to a class of location problems[J]. *Geographical Analysis*, 1973, 10: 145—155.
- [4] Marks, A. P., Thrall, G. I., Arno, M.. Siting hospital to provide cost-effective health care[J]. *Geo. Info. Systems*, 1992, 2: 58—66.
- [5] Valdimir, M., Charles, R.. The queuing probabilistic location set covering and some extension [J]. *Socio-Economic Planning Science*, 1994, 28: 167—178.
- [6] Sydney, C. K., Chu, L. C.. A modeling framework for hospital location and service allocation[J]. *International transactions in operational research*, 2000, 7: 539—568.
- [7] Noon, C. E., Hankins, C.. Spatial data visualization in healthcare: Supporting a facility location decision via GIS-based market analysis[R]. 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2001.
- [8] 周天颖, 简甫任. 紧急避难场所区位决策支持系统建立之研究[J]. *水土保持研究*, 2001, 8(1): 17—24.
- [9] 崔丽丽, 黄涛, 王铮. 数字城市中的决策支持模型的研究: 以多元韦伯区位模型为例[J]. *遥感技术与应用*, 2001, 16(4): 228—232.
- [10] Luis, G., Acosta, E., Roberto, D. G.. Dual-based heuristic for a hierarchical covering location problem [J]. *Computers & Operations Research*, 2003, 30: 65—180.
- [11] Adenso-diaz, B., Rodriguez, F.. A simple search heuristic for the MCLP: Application to the location of the ambulance bases in a rural region[J]. *Omega*, 1997, 25: 81—187.
- [12] 张颖, 王铮, 周嵬等. 韦伯型设施区位的可计算模型及其应用[J]. *地理学报*, 2007, 61(10): 1057—1064.
- [13] Ceyhun, A., Selim, H., Ozkarahan, I.. A fuzzy multi-objective covering-based vehicle location model for emergency services[J]. *Computers & Operations Research*, 2007, 34: 705—726.
- [14] 王铮, 邓悦等. *理论经济地理学*, 北京: 科学出版社, 2002.
- [15] Ronald, H. B.. *Business Logistics Management*[M]. Prentice Hall, 1998.
- [16] Floyd, R. W.. Algorithm 97: Shortest path[J]. *Commun. A. C. M.* 1962, 5: 345.
- [17] Kolesar, P., Walker, W. E.. An algorithm for the dynamic relocation of fire companies[J]. *Operations Research*, 1974, 23: 249—274.

Hierarchical Emergency Facility Location Model and Its Application

WANG Zheng^{1,2}, LIAO Bei-yu¹, SUI Wen-juan¹

(1. Key Laboratory of Geographical Information Science, Ministry of State Education of China, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. Institute of Politics and Management Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

Abstract: The particularity of emergency facilities determines that emergency facility location, as a special type of facility location problem, must pay more attention to timeliness. According to the levels of emergency services, different factors are taken into account when modeling emergency facility location. Actually, there are often several levels of emergency facilities in our real life. This article proposes a hierarchical emergency facility location model based on a hybrid model of p -center and p -median model, in which a p -center model is applied to the lower level services and a p -median model is applied to the higher level services. In accordance with the real situation of emergency services, this model improves the distance measurement by replacing the Euclidean distance with transport network distance. Finally, the hierarchical emergency facility location model is applied to the medical facilities location in Putuo District of Shanghai.

Key words: emergency facility location; hierarchical model; traffic network distance