考虑拥挤情景的小城镇已有应急公共服务设施功能优化问题——以山东省滕州市为例*

陆相林，刘春玲，赵　宁，周德胜
（石家庄学院 经济管理系，石家庄 050035）

摘　要： 针对在小城镇应急医疗服务中心功能优化问题的研究中没有考虑拥挤情景的现实，构建了新的更能反映现实问题本质的考虑拥挤情景的小城镇已有应急公共服务设施功能优化模型；并设计启发式算法求解，以山东省滕州市已有应急医疗中心功能优化为例进行实证。最后，提出所建模型可在考虑新建、多因素、等级等方面作进一步拓展研究。

关键词： 选址；小城镇应急公共服务设施；拥挤系统；排队论
中图分类号： F224.3　　**文献标志码：** A　　**文章编号：** 1001-3695(2013)03-0838-03
doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.03.050

Functional optimization of existing emergency medical service centre of small towne based on facility location theory: case study of Tengzhou city in Shandong province

LU Xiang-lin, LIU Chun-ling, ZHAO Ning, ZHOU De-sheng
(*Dept. of Economics & Management*, *Shijiazhuang University*, *Shijiazhuang* 050035, *China*)

Abstract: This paper presented a maximal covering location problem considering congested scenario to maximize the total satisfaction of all demand points. It introduced a new heuristic to solve the considered problems. Then, it took the existing emergency medical service centers in Tengzhou city of Shandong province as a case study and obtained the function optimization result for it. The computational results show that the proposed model generates facility location solutions in a more effective manner. Finally, it also proposed extensions of our research.

Key words: location; public emergency service facility of small town; congested system; queuing theory

0　引言

我国是世界上受自然灾害影响最为严重的国家之一，各种重大事故、公共卫生和社会安全事件也经常发生。我国 70% 以上的城镇、半数以上的人口、75% 以上的工农业产值，分布在气象、海洋、洪水、地震等灾害严重的地区[1]。加强突发事件的应急管理研究已成为当今我国必须面对的一个重大课题。统计表明：有效的应急系统可将事故损失降低到无应急系统的 60%[2]。应急医疗服务设施选址是基本的设施选址问题之一。国外在 20 世纪 70 年代就开始对应急医疗服务（emergency medical service，EMS）进行研究。在我国，应急医疗服务设施是卫生服务体系的一个有机组成部分，但面临站点不足，布局集中于城市等问题[3]，使得广大的乡镇地区无法获得满意的服务。在小城镇有限的财政投入下，如何优化选址，最大限度地扩大其应急医疗服务设施的覆盖范围，提高公众的满意度，是其面临的科学问题之一[4]。

考虑到小城镇发展过程中，已经拥有一定数量、规模的医疗服务设施，加之小城镇财政投资规模一般有限，因此，研究如何实现小城镇已有应急医疗设施的功能优化就变得极具实践意义。笔者在文献[4]中界定应急医疗服务中心功能优化是指应急医疗服务中心已定，通过建立优化模型，对各需求点进行优化配置，得到各需求点对设施点的归属，从而确定各设施点服务的具体需求点，以及服务半径的过程。但是，上述成果没有考虑应急医疗服务中心功能优化过程中的拥挤情景。现实情景中，应急医疗服务中心在应对各突发医疗事件中，常常存在拥挤情景。

拥挤情景在应急医疗事件中时常出现，需要应急需求者花费一定的排队与接受服务时间。学者常利用排队论对拥挤情景加以进行定量分析。Larson[5] 首先利用排队论研究了选址问题中的拥挤情景。Shavandi 等人[6] 构建了一个关于拥挤系统的模糊最大覆盖选址模型。Marianov 等人[7] 则基于 M/Er/m/N 排队模型研究了设施选址的拥挤问题。国内方面，常玉林等人[8] 从 M/G/1 角度对城市应急设施选址问题进行了初步的研究。

收稿日期： 2012-06-20；**修回日期：** 2012-07-24　**基金项目：** 河北省社会科学基金资助项目（HB11YJ004）；石家庄学院博士科研启动基金资助项目（11BJ017）；石家庄市科学技术研究与发展指导计划项目（12179473）；河北省高等学校社科研究 2012 年度基金项目（sz124030）

作者简介： 陆相林（1977-），男，河南台前人，博士，主要研究方向为管理系统优化与物流管理（luxianglin1@sohu.com）；刘春玲（1971-），女，河北辛集人，讲师，主要研究方向为区域旅游发展；赵宁（1980-），女，河南台前人，助教，主要研究方向为区域旅游发展；周德胜（1980-），男，江苏南京人，讲师，硕士，主要研究方向为管理工程、区域发展.

本文将在笔者文献[4]提出的小城镇应急医疗服务中心功能优化问题的基础上,进一步考虑拥挤情景,构建更能反映现实问题本质的考虑拥挤情景的小城镇已有应急公共服务设施功能优化模型。

1　考虑拥挤情景的设施点功能优化模型

选址问题涉及两类站点:一类为需求站点,另一类为服务站点,又称为设施点。一般用距离或者时间来表示设施点与需求点之间的联系紧密程度,为了简化分析且不失一般性,本文仅以距离为例[4]。

1.1　假设

a)假设需求和服务以点状产生;b)任意设施点与需求点的距离可通过调查或者计算得到;c)由于设施点建设与维护成本较高,故个数要有限制,设为 p 个;d)假设需求点需求时间间隔遵从泊松分布,设施点的服务时间间隔遵从负指数分布;e)假设每一需求点最多只能由一个设施点服务。需要说明的是:假设 d)是本文对文献[4]的补充之处,是在文献[4]基础上新加的假设。

1.2　符号定义

为了讨论分析的方便,进行如下的符号定义:i 代表需求点;I 表示需求点的全体;j 代表设施点;J 表示设施点的全体;m 为需求点的总数;n 为可供选择的设施点总数;p 为实际可选择修建的设施点数,$p \leqslant n$;a_i 表示需求点 i 的人口数量;d_{ij} 为需求点 i 至设施点 j 的矩离;g_{ij}° 为表示覆盖半径内需求满意差异的参数;f_i 为需求点 i 的需求率;μ_j 为设施点 j 的服务效率。x_{ij} 为 0、1 变量,如果需求点 i 被设施点 j 覆盖,则取 1 值,否则,取 0 值;y_j 指 0、1 变量,如果候选设施点 j 被选择进行设施建设,则取 1 值,否则,取 0 值。

1.3　模型

文献[4]提出设施点功能优化模型为

$$\max \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} a_i g_{ij}^{\circ} x_{ij} \tag{1}$$

$$\text{s.t.}\quad x_{ij} \leqslant 1 \quad \forall i,j \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \leqslant 1 \quad \forall i \tag{3}$$

$$x_{ij}=0,1,y_j=1 \quad \forall i,j \tag{4}$$

笔者认为,当考虑设施点存在拥挤情景时,文献[4]模型需加入新的约束条件,即

$$P(W_j^q \leqslant t) \geqslant \alpha \quad \forall j \tag{5}$$

式(5)保证了每一需求点等待应急医疗服务设施点的最大等待时间不大于 t 的概率不小于 α。其中:W_j^q 指设施点(服务点)j 在队列中平均等待时间的期望值,t 为 W_j^q 的一临界常数。

根据文献[9]的证明,式(5)可进一步转变为

$$\sum_i f_i x_{ij} \leqslant \mu_j + \frac{1}{t}\ln(1-\alpha) \quad \forall j \tag{6}$$

其中:f_i 为需求点 i 需求时间间隔遵从泊松分布条件下的服务需求率;μ_j 指代节点 j 的服务率,设施点的服务时间间隔遵从负指数分布。因此,得到新的考虑拥挤情景的小城镇已有医疗服务中心功能优化模型为

$$\max \sum_i \sum_j a_i g_{ij}^{\circ} x_{ij} \tag{1}$$

$$\text{s.t.}\quad x_{ij} \leqslant 1 \quad \forall i,j \tag{2}$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} \leqslant 1 \quad \forall i \tag{3}$$

$$\sum_i f_i x_{ij} \leqslant \mu_j + \frac{1}{t}\ln(1-\alpha) \quad \forall j \tag{4}$$

$$x_{ij}=0,1,y_j=1 \quad \forall i,j \tag{5}$$

模型中目标函数(1)使被覆盖的需求点的总满意程度最大,约束(2)使得选定的设施点 j 覆盖需求点 i;约束(3)强化设施点的服务效率,保证每一个需求点最多只可由一个设施点提供服务,消除各设施点间的重复覆盖问题;约束(4)限制决策变量 x 和 y 为 0、1 整数变量;约束(5)保证了每一需求点等待应急医疗服务设施点的最大等待时间不大于 t 的概率也不小于 α。

1.4　模型求解的启发式算法

本文所建模型属于最大覆盖问题,是 NP-hard 问题[10~12]。对于大型的此类问题的求解,精确算法以及一般的商业优化软件无能为力,只能借助于启发式或近似算法[13],以及人工智能等算法(如蚁群算法)来求得其近似解[14]。

功能优化问题中,设施点已经确定,即对于任意设施点 j,都有 $y_j=1$。模型求解的任务是确定 x_{ij} 的值。基于上述特点,笔者提出以下启发式算法求解思路:

a)初始化各参数。对 a_i 赋值,根据所测得的需求点至设施点距离矩阵,利用如下公式求得 g_{ij}° 值:

$$g_{ij}^{\circ}=1-\frac{d_{ij}-\min\{d_{ij}\}}{\max\{d_{ij}\}-\min\{d_{ij}\}}=\frac{\max\{d_{ij}\}-d_{ij}}{\max\{d_{ij}\}}$$

b)对任一需求点 i,计算其被各设施点覆盖时的各 $a_i g_{ij}^{\circ}$ 值,比较各设施点对应的 $a_i g_{ij}^{\circ}$ 值,取其最大者对应设施点(设为 j),并验证约束条件式(6),如满足,则令 $x_{ij}=1$;如不满足,则取 $a_i g_{ij}^{\circ}$ 为第二大的设施点(设为 j'),再次验证约束条件式(6),如满足,则令 $x_{ij'}=1$,以此类推,其他 $x_{ij}=0$。

c)重复步骤 b),直至所有的需求点都完成步骤 b)。

d)根据所得到的 x_{ij} 的值,确定各设施点服务的需求点,并确定各设施点的服务半径,得到本节的已有设施点功能优化结果。

2　考虑拥挤情景的滕州市已有应急医疗服务中心功能优化

2.1　数据收集与整理

功能优化中,以各医疗中心为设施点,以各乡、镇(街道)机关所在地代表需求点,设施点与需求点之间距离用公路行车距离表示。北京灵图软件技术有限公司是全国 11 家拥有甲级测绘资质(含导航电子地图制作)的公司之一。该公司的“我要地图网”网站[15]与谷歌网站的地图功能相似,但设计上更贴合中国国情,可提供详细到我国村级单位之间的测距、测面功能,且结果较为准确。本文中各应急医疗中心至各镇、街道的距离数据由“我要地图网”网站的测距功能测得,篇幅所限,具体数据略。

滕州市是山东省枣庄市的一个县级市,是全国百强县(市)之一,面积 1 485 km^2,至 2011 年底,下辖 4 个街道、17 个镇,179 个居委会、1 047 个村委会,共计 170 万人。滕州市急救指挥分中心隶属于枣庄急救指挥中心,现有滕州中心医院、滕州工人医院、滕州市中医院、滕州王开传染病院、滕州枣矿柴里医院、滕州张汪医院、滕州东郭医院共七家应急医疗服务中心。

笔者调查得到 2009 年 9 月 12 日至 2010 年 9 月 12 日一年内滕州分应急医疗中心各站出车统计情况(表 1)。观察本文所建模型,与文献[4]模型相比,需确定式(6)中的 f_i 和 μ_j 两个参数的值。这里 μ_j 是设施点 j 的服务效率,指一辆急救车辆每天最多能够完成由应急医疗点至需求点的次数,单位为:次/

天。确定 μ_j 有三个准则,即乐观准则、折中准则和悲观准则,不同准则下,μ_j 取值不同。本节取乐观准则,以设施点 j 的最大出车次数作为 μ_j,即有 $\mu_j = \max_i\{\mu_{ij}\}$, $\forall i$。其中:μ_{ij}指设施点 j 为需求点 i 服务的效率,通过调查测算,滕州市平均行车速度为 0.87 km/min,平均出车时间为 1.5 min,因此有 $\mu_{ij} = (24 \times 60)/(2 \times d_{ij} + 1.5)$。$f_i$ 指需求点 i 的服务需求率,指各乡镇、街道平均每天急救呼叫的次数,单位为:次/天。根据搜集的有关滕州市各乡镇、街道的一年之中的急救统计数据,确定人均年呼叫急救医疗的概率为 16.86%,因此得到第 i 个乡镇、街道平均每天急救呼叫的次数为 $f_i = (a_i \times 0.1686 \times 10000)/365$。

表 1 滕州市各应急医疗服务中心出车统计

医院	有效出车数/次	平均出车时间/min	医院	有效出车数/次	平均出车时间/min
滕州东郭医院	86	1.67	滕州中心医院	9202	1.67
滕州工人医院	1594	1.22	滕州王开传染病院	41	2.15
滕州市中医院	2654	1.13	滕州枣矿柴里医院	447	0.97
滕州张汪医院	39	0.95	合计	14063	1.5

注:数据来源于山东省枣庄市急救指挥中心;调查开始时间:2009/9/12 8:00:00;结束时间:2010/9/13 8:00:00。

2.2 优化结果

根据相关调查数据,利用 MATLAB 7.0 编写启发式算法程序,在 PC 机 Windows XP 环境下运行通过,求得表 2 的结果。

表 2 考虑拥挤情景的滕州市应急医疗服务中心功能优化结果

滕州市已有应急医疗服务中心	服务镇、街道	覆盖半径/km/最远服务镇、街道
滕州东郭医院	东郭镇	0/东郭镇
滕州工人医院	东沙河镇、南沙河镇、荆河街道、北辛街道、善南街道	9.2/南沙河镇
滕州市中医院	大坞镇、姜屯镇、洪绪镇、鲍沟镇、龙泉街道	16.1/大坞镇
滕州王开传染病院	滨湖镇、木石镇、羊庄镇	18.1/羊庄镇
滕州枣矿柴里医院	级索镇、西岗镇	11.2/级索镇
滕州张汪医院	官桥镇、张汪镇、柴胡店镇	10.1/柴胡店镇
滕州中心医院	界河镇、龙阳镇	17.8/界河镇

注:表中覆盖半径为 0 指该应急医疗服务中心只为其自身所在镇级单位服务。

表 2 中第一列列出的是滕州市已有的七个应急医疗服务中心,分别为滕州东郭医院、滕州工人医院、滕州市中医院、滕州王开传染病院、滕州枣矿柴里医院、滕州张汪医院、滕州中心医院。

由表 2 第二列可以得出,落在滕州东郭医院服务范围内的镇级单位为东郭镇;落在滕州工人医院服务范围内的镇级单位为东沙河镇、南沙河镇、荆河街道、北辛街道、善南街道;落在滕州市中医院服务范围内的镇级单位为大坞镇、姜屯镇、洪绪镇、鲍沟镇、龙泉街道;落在滕州王开传染病院服务范围内的镇级单位为滨湖镇、鲍沟镇、南沙河镇、木石镇、羊庄镇;落在滕州枣矿柴里医院服务范围内的镇级单位为级索镇、西岗镇;落在滕州张汪医院服务范围内的镇级单位为官桥镇、张汪镇、柴胡店镇;落在滕州中心医院服务范围内的镇级单位为界河镇、龙阳镇。

由表 2 第三列显示七个滕州市应急医疗服务中心的覆盖半径与最远服务镇:滕州东郭医院的覆盖半径为 0 km,意指其最远服务镇为其本身所在镇,即东郭镇;滕州工人医院的覆盖半径为 9.2 km,服务镇为南沙河镇;滕州市中医院的覆盖半径为 16.1 km,最远服务镇为大坞镇;滕州王开传染病院的覆盖半径为 18.1 km,最远服务镇为羊庄镇;滕州枣矿柴里医院的覆盖半径为 11.2 km,最远服务镇为级索镇;滕州张汪医院的覆盖半径为 10.1 km,最远服务镇为柴胡店镇;滕州中心医院的覆盖半径为 17.8 km,最远的服务镇为界河镇。

2.3 考虑拥挤情景时的功能优化布局图

基于表 2 中考虑拥挤情景时的功能优化结果,结合原始数据,得到已有滕州市应急医疗服务中心服务布局图,如图 1 所示。

图1 考虑拥挤情景的滕州市医疗服务中心功能优化布局图

3 结束语

本文针对小城镇应急医疗服务中心功能优化问题的研究中没有考虑拥挤情景的现实,构建了新的更能反映现实问题本质的考虑拥挤情景的小城镇已有应急公共服务设施功能优化模型;设计了启发式算法进行求解,并以山东省滕州市为例实证,得出其应急医疗中心的归属单位,服务乡(镇)与服务半径,并绘出配置示意图。本文在模型与算法有一定创新的同时,较好地克服了设施选址研究中多侧重于模型构建与算法设计,联系实际情景不足的缺陷。

a)本文只考虑了拥挤情景下的已有应急医疗中心功能优化问题,因此,新建应急医疗中心选择问题可作为一个新的拓展方向;b)考虑多因素影响(如灾害风险程度、自然环境条件、人口密度等)的选址模型构建及求解应是本文的一个拓展方向;c)笔者仅对同一等级层次上的小城镇应急公共服务设施选址功能优化问题进行研究,因此,进一步的拓展方向为不同级别上的设施选址问题进行研究。

参考文献:

[1] 徐志胜, 冯凯, 冯春莹. 基于 GIS 的城市公共安全应急决策支持系统[J]. 安全与环境学报, 2004,4(6):82-85.

[2] 吴宗之, 刘茂. 重大事故应急救援系统及预案导论[M]. 北京:冶金工业出版社,2003.

[3] 蔡砥, 滕丽, 林小慧. 城乡一体化地区 120 急救医疗站点设施区位问题分析——以广东省鹤山市为例[J]. 人文地理,2009,24(1): 63-66.

[4] 陆相林,侯云先,林文,等. 基于设施选址理论的小城镇应急医疗服务中心功能优化——以山东省滕州市为例[J]. 经济地理,2011,31(7):1119-1123.

[5] LARSON R. A hypercube queuing model for facility location and redistricting in urban emergency services[J]. Computers and Operations Research,1974,1(1): 67-95.

[6] SHAVANDI H, MAHLOOJI H. A fuzzy queuing location model with a genetic algorithm for congested systems[J]. Applied Mathematics and Computation,2006,181(1):440-456.

(下转第 843 页)

可以收集用户对提供答案的满意程度信息。对于大量用户反馈的满意或者不满意的答案,可以以某种方式对该答案的文档向量表示进行加权处理。从而改善系统的性能。

4　实验结果

在计算机网络技术领域中按照本文的方法设计出一个问答系统。由于问答系统的特殊性,这里只以准确率来考察系统的性能指标。准确率的计算公式按照 TREC 会议的计算公式来计算[10]:

$$准确率=\frac{答对的问题分数}{问题的总分数}$$

这里对每个问题系统提供五个答案,如果第一个答案是对的,得 1 分;第二个答案是对的,得 1/2 分;第三个答案是对的,得 1/3 分;第四个答案是对的,得 1/4 分;第五个答案是对的,得 1/5 分。

针对主题词提取公式中主题词个数及共现词互信息的权值不同对问答系统准确率的影响,本文对不同的参数值进行了测试,如表 1、2 所示。实验中对系统提问的问题个数均为 20 个。

表 1　不同权值的实验结果

α_2	得分值	准确率/%
0.05	16.36	81.8
0.1	17.10	85.5
0.15	16.00	80.0
0.2	15.70	78.5

表 2　词共现图法和 VSM 法对比实验结果　/%

主题词个数	5	6	7	10
VSM 法准确率	74.1	78.3	83.3	90.0
本文方法准确率	85.5	86.6	88.3	93.3

表 1 的实验中固定 a_2 答案的主题词个数为 5,针对共现词互信息对主题的支持程度进行了相应的对比实验。可以看出,将关键词的 TF-IDF 值的权值定为 0.9,单词之间互信息的权值定位 0.1,可以取得较好的实验结果。当其权值过小时,无法体现出共现词互信息对于主题的贡献度;如果权值取得过大,可能会掩盖 VSM 模型中 TF-IDF 值比较大的单词对主题的影响。所以参数 α_2 取一个合适的值能够获得更高的准确率。

表 2 的实验中固定 α_2 的值为 0.1,针对传统的 VSM 方法和本文提出词共现图法进行了不同主题词个数下的对比实验。可以看出:a)本文的方法要优于传统的 VSM 模型,特别是当主题词个数为 5 时;b)随着主题词个数的增加,本文的方法和 VSM 方法的实验结果越来越接近。其原因是当主题词个数增加时,原本词频低但对主题贡献度大的单词在 VSM 方法中亦可能被选中,造成词共现图法与 VSM 法选取的主题词也越来越接近。

需要说明的是,本系统最终提供的答案数目为 5 个,如果简单地以是否有正确答案出现在候选答案中来判别系统准确率,上面两组实验的准确率都是 100%。由此可以看出,本文提供的方法在受限领域的自动答疑中具有非常好的应用前景。

5　结束语

本文采用基于词共现图的方法对自动问答系统的研究不仅具有理论意义也有实际的应用价值。该模型在受限领域的问答系统中具有实现简单、准确率高的优点。但是该方法在答案库的向量表示阶段,算法时间复杂度较高,有待进一步完善。

参考文献:

[1] 王树西. 问答系统:核心技术、发展趋势[J]. 计算机工程与应用,2005,41(18):1-3.

[2] 常鹏,冯楠,马辉. 一种基于词共现的文档聚类算法[J]. 计算机工程,2012, 38(2):213-214.

[3] 耿焕同,蔡庆生,于琨,等. 一种基于词共现图的文档主题词自动抽取方法[J]. 南京大学学报:自然科学版,2006,42(2):156-162.

[4] SUI Zhi-fang, CHEN Yi-rong. The research on the automatic term extraction in the domain of information science and technology[C]// Proc of the 5th East Asia Forum of the Terminology. Beijing: China National Institute of Standardization Press, 2007:165-169.

[5] 秦兵,刘挺,王洋. 基于常问问题集的中文问答系统研究[J]. 哈尔滨工业大学学报,2003,35(10):1179-1182.

[6] WONG S A, YANG C S. A vector space model for automatic indexing [J]. Communications of the ACM,1975,18(5):613-620.

[7] SALTON G, MCGILL M J. Introduction to modern information retrieval[M]. [S.l.]: Mcgraw-Hill, 1983:402-403.

[8] 周进华,刘贵全,陈恩红. 基于概念共现图的多文档自动摘要研究[J]. 中国科学技术大学学报,2009,39(11):1218-1223.

[9] 吴晨,张全. 基于内容分析的中文问答处理算法及系统实现[J]. 计算机应用研究,2006,23(9):139-142.

[10] 黄昌宁. 从 IBM 深度问答系统战胜顶尖人类选手所想到的[J]. 中文信息学报,2011,25(6):21-25.

(上接第 840 页)

[7] MARIANOV V, BOFFEY T B, GALV O R D. Optimal location of multi-server congestible facilities operating as M/Er/m/N queues [J]. Journal of the Operational Research Society, 2009, 60 (5): 674-684.

[8] 常玉林, 王炜. 城市紧急服务系统优化选址模型[J]. 系统工程理论与实践,2000,20(2):104-107.

[9] MARIANOV V, SERRA D. Probabilistic maximal covering location-allocation models for congested systems[J]. Journal of Regional Science,1998,38(3):401-424.

[10] HAKIMI S L. Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph[J]. Operations Research,1964, 12(3):450-459.

[11] HAKIMI S L. Optimum distribution of switching centers on a communications network and some related graph theoretic problems[J]. Operations Research,1965,13(3):462-475.

[12] KARIV O, HAKIMI S. An algorithm approach to network location problem[J]. SIAM Journal of Applied Mathematics, 1979, 37 (4):513-560.

[13] BERMAN O, DREZNER Z. Location of congested capacitated facilities with distance-sensitive demand[J]. IIE Transactions,2006,38 (3):213-221.

[14] 陆相林,侯云先,林文,等. 基于选址理论的小城镇应急物资储备库优化配置——以北京房山区为例[J]. 地理研究,2011,30(6): 1091-1099.

[15] 我要地图[EB/OL]. http://www.51ditu.com/.