

面向公平分配的时变应急服务覆盖优化

张 彤¹ 马 帅² 沈 宏³

1 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉,430079
2 铁道第三勘察设计院集团有限公司,天津,300251
3 昆山鸿鹄信息技术服务有限公司,江苏 昆山,215347

摘 要:应急服务需要根据实际情况在城市的某些区位中提前布置,才能保证需求发生时能在规定时间内到达需求位置,提供应急服务。布置区位时,需要根据时变交通条件的变化,适当考虑时空的合理分布,以为城市居民提供较为公平的服务覆盖。传统最大区位覆盖模型较少考虑服务的公平分配,特别是在时变交通和复杂大规模路网条件下,缺乏对公平量度的显式建模。基于目前区域覆盖优化模型的最近进展,扩展了传统最大区位覆盖模型,建立面向公平分配的时变应急服务覆盖模型,提出了相应的启发式高效求解方法。利用武汉市数据进行实验验证,证实模型求解得到的区位配置解较之传统模型,不仅提供了更加公平的应急服务覆盖,也考虑到了时变交通条件,改善了应急资源在时空上的均衡配置水平,整体上提高了应急服务质量。

关键词:公平分配;时变;最大区位覆盖模型;应急服务;优化

中图法分类号:P208 **文献标志码:**A

城市应急管理需要根据实际情况在城市某些区位上布置医疗救护、抢险、公共安全等应急服务资源,以便在最短的时间内根据需要达到指定位置,提供应急服务。在应急服务覆盖规划中,一般需要在给定有限服务资源的约束下,通过优化模型,确定实际部署的服务资源配置区位,实现对区域空间的最大覆盖。应急服务覆盖优化建模与求解是区域覆盖优化(regional coverage optimization)的一种典型应用问题。决策者希望通过有限的服务设施区位和资源提供最大程度的服务覆盖,通常的做法是建立空间优化数学模型来描述优化目标和约束条件。该问题是地理信息科学和运筹学的经典问题,近年来取得了较大的进展,应用于时空表达、模型建模、求解算法、误差分析和应用等方面^[1-3]。国内也出现了一定数量的区域覆盖优化的应用研究,如消防站布局^[4]、应急物资储备^[5]、学区划分^[6]和机场选址^[7]等。这说明该问题正逐渐被不同应用领域关注,开始体现更大的应用价值。

传统区域覆盖优化模型重点关注服务设施的初始选址优化,期望能一次性实现服务覆盖的最

大化。在时变交通条件下,有时需要对应急资源进行动态配置,如根据未来需求的变化,将医疗救护车辆和人员预先调动到新的区位,实现对未来需求的更好覆盖。这种实时或准实时重新配置是近年来应急服务覆盖优化的研究热点^[8]。

虽然时变应急服务覆盖已经获得了较多的研究成果,但是大多数研究仍主要关注覆盖需求最大和重新配置次数最少两个优化目标^[8,9]。对于应急服务设施在空间上的分布,没有从需求端考虑应急服务设施的可达差异水平,容易导致城市中心区和人口密集区域可获取的应急资源较多,而城市边缘和人口较为稀疏的区域的应急资源相对较少甚至没有。因此从社会公平的角度出发,需要在整体规划和实际运营中考虑到应急需求的时空分布情况,在建模时考虑服务覆盖公平,实现应急资源在时空上的均衡配置。公共服务的公平分配在 GIS 领域已有一定数量的研究。采用类似服务到需求距离绝对或相对偏差的简单指标不适合常见公用服务覆盖优化应用。由于表达和求解的困难,目前尚未在覆盖优化建模中引入复杂公平量度的研究。

本文基于目前区域覆盖优化模型的最新进展,建立面向公平分配的时变应急服务覆盖优化模型,提出基于可变邻域搜索的启发式高效求解算法。通过武汉市应急救护实例的实验验证,求解得到的区位配置较之传统模型更好地提供了公平的应急服务覆盖。本文的主要创新点为:首先,显式地提出了以基尼系数为核心的应急覆盖优化目标函数,使得覆盖服务的时空分配可以通过调整模型来动态调整;其次,针对提出的公平应急服务覆盖模型,开发实现了基于可变邻域搜索的求解算法,显著提高了求解效率。采用武汉市实际路网、交通数据对模型进行了全面测试,验证了模型在动态应急服务区位配置问题上的优势。

1 最大覆盖区位问题

在给定有限服务资源限制下,如何求解资源配置的区位,以实现区域内服务覆盖需求的最大化,是覆盖优化的核心问题。该问题由 Church 和 ReVelle^[10]提出,称为最大覆盖区位问题(maximal covering location problem, MCLP)。传统 MCLP 模型没有充分考虑时变交通状态。实际情况中,服务设施在为邻近需求提供服务的时候,会受制于不断变化的交通状态,如拥堵严重的区域,其服务覆盖范围将会大大缩小。城市应急服务配送通过城市路网进行,因此配送距离计算受到路网长度等因素影响,不可以直线欧氏距离计算。本文重点考虑时变条件,在实现区域最大覆盖的基础上尽量顾及区域公平。根据多时段划分的不同交通条件,求解应急服务的区位部署和重新配置方案;同时尽量使规划部署的应急服务在时空上更加均衡,减少需求区域之间的服务覆盖差异。在每天的不同时间段、一周的不同日期、一年的不同季节,应急需求如医疗急救需求都是动态变化的。应急资源的配送受到交通条件制约,也会造成实际覆盖范围的动态变化。所以在时变条件下,一般需要对当前应急服务配置的区位进行一定的调整,如将救护车辆根据未来的需求和交通情况进行适当移动,部署到新的区位等,来实现更好的服务覆盖。但是这种重新配置也会造成应急资源损耗和人员疲惫,因此需要在服务覆盖最大和重新配置次数之间取得最优的平衡。

应急服务是一种公共服务资源,除了应追求区域覆盖的最大化,还应该在城市的不同需求区域之间取得尽量一致的公平,保证不同区域的服务响应时间基本一致,即覆盖优化模型应争取城

市区域内所有居民都能享受到较为均衡的应急服务。

总结以上分析,面向公平分配的时变应急覆盖优化模型应考虑如下要求:①在资源有限的约束下,尽可能多地覆盖应急需求;②在时间应急服务覆盖优化求解的区位配置下,不同需求区域应急反应时间的时空分布应尽量均衡,即城市居民得到的应急服务水平尽量公平;③不同交通条件下,考虑路网约束的覆盖范围变化并相应作出调整。

2 覆盖优化模型建立

2.1 公平量度

虽然目前尚无通用的公平量度指标,但是许多研究选取了收入分配公平评价常用的“基尼系数”(Gini coefficient),提出了相应的交通可达公平量度指标。基尼系数是基于洛伦兹曲线(Lorenz curve)计算的。洛伦兹曲线是表征某个量化指标在人群中的累积分布函数。以应急医疗救护为例,如果每个需求分块距离最近应急设施区位的距离(通常用时间表达)都相等,则应急服务在时空上的分布是完全公平的,此时洛伦兹曲线表现为一条直线。但实际上,仅有少数需求分块到最近应急设施区位的距离小于全区域平均值,大多数分块到最近应急设施的距离会大于平均值,这说明少部分人比大多数人享受到更好的应急服务覆盖。基尼系数的计算在图形上可表达为洛伦兹曲线与完美公平直线之间的面积除以完美公平直线以下面积的比例。可见,基尼系数值越高,实际的洛伦兹曲线与完美公平直线之间的差距就越大,应急分布在空间上的分配就越不公平。本文的基尼系数计算采用文献[11]中的方法。在实际计算中应考虑每个街区分块的潜在急救需求,因此本文按照实际的土地利用、人口密度估算急救需求的概率来对该分块进行排序的加权计算。

2.2 面向公平分配的时变应急服务覆盖优化建模

分时段建立模型是求解时变区域覆盖优化问题的常见方法。分时段模型中,目前时段与上一个时段相比,不仅需要满足应急服务覆盖的最大化,还应该考虑如何尽量减少应急服务资源的移动。本文建模还提出了关注公平的目标,即整体模型应该保证应急服务在每个时段的空间分配是最公平的。以应急医疗救护为例,应急需求表现

为急救 120 电话的数量和位置,而应急服务资源表现为分布在城市中若干等待地点的救护车。假设需要规划的时间范围为 T ,均匀等分成多个时段。救护车辆的候选区位集合是 J ,急救需求分块集合为 I ,每个急救需求分块 i 在 t 时段的需求为 a_i^t ,在 t 时段每个候选区位到需求分块的时间距离表达为 d_{ji}^t 。本文的目标是在给定有限的 p 个待部署的区位和 V 辆救护车限制下,求得这些救护车的部署区位,使得时间范围 T 内,研究区域的急救需求得到最大程度的覆盖和满足,即在所有时段 $t \in T$ 中,救护车辆到急救位置的距离满足小于时间阈值 S 的急救需求数量为最大。同时所有救护服务从待命区位到急救需求现场耗时间(即应急反应时间)的累积概率分布应该尽可能公平,即基尼系数尽量小。此外,从时段 t 到时段 $t+1$,从区位 j 移动到其他区位的救护车辆重部署数量为 $M_{j-}^t (j \in J)$,从其他区位移动到区位 j 的重部署数量为 $M_{j+}^t (j \in J)$ 。对于时变应急服务覆盖优化问题而言,这个重部署数量应该限制在一定阈值内,以免造成救护人员的疲惫和额外开销。

本文提出一个双目标优化模型来描述面向公平分配的时变应急服务覆盖优化问题。模型变量定义如下:

- $i \in I$,代表应覆盖的需求块状标记;
- $j \in J$,代表候选应急服务部署区位标记;
- $|T|$ 表示 T 范围内分时段总数;
- a_i^t 代表需求区域 i 在 t 时段内的需求数量;
- D_{ij}^t 为需求分块 i 在 t 时段的应急反应时间(部署在 j 的救护车行驶到 i 的时间);
- $N_i = \{j \mid D_{ij}^t \leq S\}$,即需求分块 i 周围可覆盖 i 的候选区位 j 的集合(i 在 j 服务半径阈值 S 范围内);
- N_t 为研究区域中所有需求分块的数量;
- D_i 为需求分块 i 到应急服务的距离(通常用时间表达);
- γ 表示公平目标函数的权重;
- p_t 代表 t 时段可部署的区位最大数量;
- $V_{j,t}$ 表示 t 时段 j 区位容纳的救护车辆的最大数量;
- V_t 表示 t 时段所有区位可部署的救护车辆最大数量;
- M_T 表示时间 T 范围内救护车辆重部署的总次数限制;
- M_{j+}^t, M_{j-}^t 分别表示 t 时刻候选区位 j 移入和移出的重部署救护车数量;

$z_{i,j,t}$ 表示 i 区块 t 时段的一次急救需求被位于 j 的一辆救护车所满足;

$v_{j,t}$ 表示 t 时段部署在区位 j 的救护车数量;
 $V_{j,t}$ 表示区位 j 可容纳的救护车最大数量;

$$x_{j,t} = \begin{cases} v_{j,t}, & t \text{ 时段部署在区位 } j \text{ 的救护车数量} \\ 0, & j \text{ 在 } t \text{ 时段未部署任何救护车} \end{cases}$$

$$y_{i,t} = \begin{cases} 1, & i \text{ 的需求可被至少一辆救护车覆盖} \\ 0, & i \text{ 的需求未被覆盖} \end{cases}$$

目标函数:
最大化

$$Z_1 = \sum_{t=1}^{|T|} \sum_{i=1}^{|I|} a_i^t y_{i,t} \tag{1}$$

$$Z_2 = \gamma \sum_{t=1}^{|T|} [1 - \text{Gini}(N_t, D_i^t)] \tag{2}$$

约束条件

$$\sum_{j \in N_i} x_{j,t} \geq y_{i,t}, \quad \forall i, j, t \tag{3}$$

$$\sum_{j \in N_i} z_{i,j,t} = a_i^t, \quad \forall i, j, t \tag{4}$$

$$\sum_{t=1}^{|T|} (M_{j+}^t + M_{j-}^t) \leq M_T, \quad \forall j, t \tag{5}$$

$$\sum_{j \in J} x_{j,t} + \sum M_{j+}^t - \sum M_{j-}^t = \sum_{j \in J} x_{j,t+1} \tag{6}$$

$$\sum_{j \in J} \frac{x_{j,t}}{v_{j,t}} = p_t, \quad \forall j, t \tag{7}$$

$$\sum_{j \in J} x_{j,t} \leq V_t, \quad \forall j, t \tag{8}$$

$$x_{j,t} \leq V_{j,t}, \quad \forall j, t \tag{9}$$

$$x_{j,t} = \{0, \text{正整数}\}, \quad \forall j, t \tag{10}$$

$$y_{i,t} = \{0, 1\}, \quad \forall i, t \tag{11}$$

目标函数 Z_1 基于传统 MCLP 模型,即研究区域在研究时段 T 中的被覆盖的总体覆盖要取得最大值, Z_2 的目标则是在所有时段的基尼系数(Gini)总和需要取得最小。对每一个时段,约束条件(3)和(4)确保每个需求分块的急救需求可被附近的救护车辆满足,约束(5)限制救护车辆重部署的总数(小于 M_T),约束(6)保证相邻时段救护车辆重部署后的数量保持一致,约束(7)确定 t 时段需要部署的救护车辆待命区位总数,约束(8)保证 t 时段部署的救护车总数不超过可调配的上限,约束(9)保证每个区位部署的救护车辆不超过该处许可的限值,约束(10)和(11)限制决策变量的取值。与传统 MCLP 模型相比,本文提出的模型不仅显式地体现了公平分配的思想,还考虑了救护车辆重部署位移来提升不同时间段的覆盖水平。

2.3 模型求解

大规模路网约束的时变应急服务覆盖优化模型通常难以取得精确的最优解。运筹学领域对于时变应急服务的重部署问题通常采用启发式求解方法。本文采用基于可变邻域搜索(variable neighborhood search, VNS)^[12]的算法迭代计算近似最优解。近似最优解的形式为每个时段救护车候选区位的分布以及每个区位上部署的救护车数量。每个解包含若干个区位解,即每个区位的救护车配置数量。

可变邻域搜索算法从一个初始解出发,彻底地探索当前最优解每个区位解的邻域,生成一个随机解。如果在邻域中能找到一个不劣于当前最优解的新解,则该新解被接受为当前最优解,并开始探索当前最优解邻域。传统可变邻域搜索算法的初始解是随机产生的,可能会导致迭代收敛缓慢。本文算法中,我们让用户输入初始解,即在地图上点选救护车辆的初始部署区位和数量,这样,初始解可以代表一个较为合理的初始区位分布。具体步骤如下。

首先用户输入初始解,即 t_0 时刻救护车部署的区位和每个区位的车辆数量,作为 t_1 时段的初始最优解。这个初始解及之后所有可变邻域搜索的解都需要满足区位容纳救护车数量、该时段部署区位和救护车总数的上限约束。对于每一个时段,初始解都采用上一个时段的最优解开始调度,以保持部署的连续性。在可变邻域搜索迭代过程中,如果相邻两次迭代的变化小于阈值,则停止迭代。可变邻域搜索时,先根据当前救护车的部署区位、候选区位集合、最大允许的应急反应时间、需求分块的位置和应急需求数量来计算实际救护覆盖范围。在此基础上,结合公平权重计算累积目标函数值,并以此为基础进行当前最优解的搜索和更新。搜索的范围根据路段行程时间的不同而变化,体现了动态应急服务部署的实际情况。基尼系数的计算基于不同时段和不同交通条件进行,在时空上考虑应急服务部署的公平分配。

实现可变邻域搜索的关键是将当前部署的救护车移动到邻域范围内的其他区位,作为一个可能的解集 x'_i 。通过计算新解集的目标函数值来判断是否更新当前最优解 x_i 。这个过程通过在邻域内遍历可能的解集,基于最大改善算法来寻找最优解。最大改善算法能在当前最优解的邻域空间内利用目标函数值增长最快的方向来寻找新的当前最优解。如果新解的目标函数值比当前解更大,则采用新解作为新的当前最优解,并用这个

新解的邻域进行新的搜索,否则继续探索直到遍历整个解集空间。本文在更新最优解的时候,不仅记录救护车部署的区位,还记录该区位部署的救护车数量。

3 实验与讨论

3.1 数据

实验选取武汉市实际数据,包括武汉市道路网络、浮动车、土地利用、主要急救设施分布以及应急电话统计数据等。如图 1 所示,将武汉市主城区道路网络进行基本的化简和拓扑处理,共 17 518 个节点和 28 101 条弧段。浮动车数据采用 2009 年 3 月第一周全市 11 263 辆出租车的 GPS 轨迹。基于路网数据和经过地图匹配后的浮动车数据,经过估计计算,得到了以 2 h 为间隔的每条路段的平均速度和行程时间。根据现有急诊设施的分布情况,加上其他交通便捷的区位,共确定 93 个候选区位,并对每个区位设置最大容纳的救护车数量。根据目前武汉市医疗专用急救电话(以下简称 120)和各医院急救设施情况,将全市救护车任意时段可调配的车辆总数设置为 50 辆。应急需求分块是基于道路网构成的街区内部,通过 Voronoi 图划分,按照到周围道路距离最近的原则将被道路网围绕的街区划分为若干急救需求分块。由于武汉市人口分布数据只能获取到街道办事处一级,本文基于土地利用数据,对住宅区根据道路密度进行插值,估计每个需求分块的人口数量,再根据夏季武汉 120 每天急救数量,估计每个时段的急救需求。实验的时间范围设置为工作日的周五,从 0 点开始均匀分为 8 个时段。最大的允许应急救护反应时间按照有关急救规定设置为 10 min。一整天的需求量设置为 300 次,按照时间和估算的人口密度随机分配给各需求分块。实验计算机的配置为 CPU Intel(R) Core(TM) i3-2100 CPU @3.10 GHz,内存 8 GB,操作系统 Windows 7 64 位,求解和可视化程序开发基于 ArcGIS Engine 10.0。实验结果一般取 5 次计算的平均值,整数变量四舍五入取整。

3.2 结果及讨论

本文首先对是否考虑公平分配的救护车优化配置结果进行比较,设计实验一。在目标函数(2)中将 γ 设置为 0,即可将模型转化为普通的时变应急服务覆盖优化模型。

覆盖比例是根据时段内可在 10 min 内得到应急救护的需求数量与总需求数量的比例来计算

的。从表 1 可知,对于所有时段,本文提出的模型在覆盖比例上与不考虑公平的时变应急服务覆盖优化模型非常接近,但是在时空的公平分配上得到了好的改善。研究还发现,在早晚高峰(06:00~09:00 和 15:00~21:00),由于总体路段行程时

间大大延长,无论是否考虑公平,覆盖比例都有显著下降。这是因为很多之前可被正常覆盖的需求受到救护车资源的总体限制,不能在 10 min 内得到应急救护,导致基尼系数出现一定程度的增长。

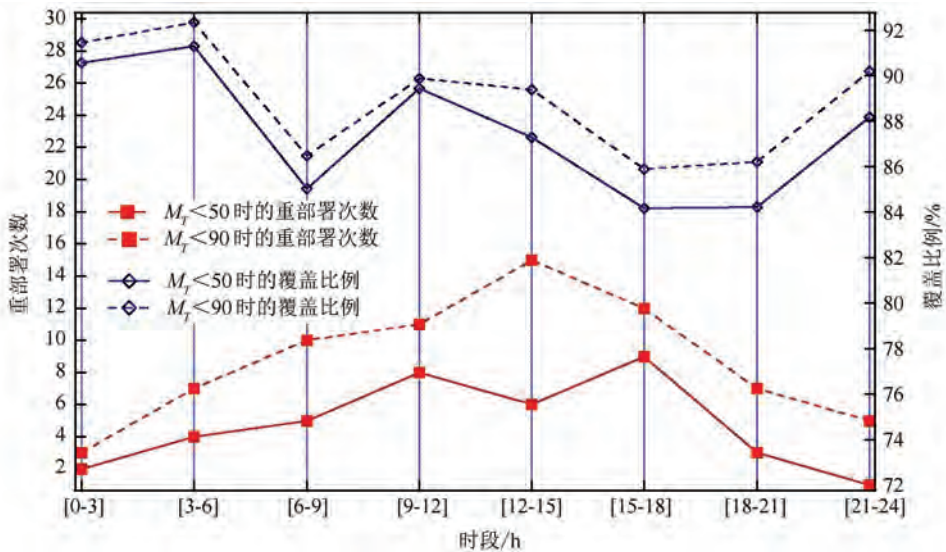


图 1 不同最大重部署次数约束的求解比较 ($\gamma=500$)

Fig.1 Comparison of Solutions Based on the Constraints of Maximum Redeployment Number

考虑公平优化目标对于高峰时段的作用更显著,基尼系数在早晚高峰的改善都比较明显,总体上各时段之间的基尼系数变化较小。对于高峰时段,可以通过增加救护车资源、增加配置区位或增加救护车重部署等手段来改善覆盖能力,但是都需要耗费额外的人力和物力。

表 1 对比是否考虑公平目标函数的优化配置结果
($M_T=50, \gamma=500$, 所有时段 $p_t=45$)

Tab.1 Optimal Allocation Result Considering Fair Objective Function ($M_T=50, \gamma=500$, all Time Interval $p_t=45$)

时 段	覆盖比例/%		基尼系数	
	考虑公平	不考虑	考虑公平	不考虑
00:00~03:00	90.57	91.01	0.451	0.512
03:00~06:00	91.28	91.40	0.452	0.521
06:00~09:00	85.03	87.97	0.460	0.554
09:00~12:00	89.45	90.19	0.458	0.527
12:00~15:00	87.28	87.94	0.456	0.515
15:00~18:00	84.17	85.08	0.469	0.551
18:00~21:00	84.22	84.90	0.466	0.575
21:00~24:00	88.17	88.35	0.459	0.538

接着设计实验二以评价算法的求解效率。高效的求解方法对于应急服务调配和重部署非常关键。在求解效率方面,对比了本文的启发式求解方法和常见的 CPLEX12 工具。基于武汉市的实际急救数据,CPLEXR 工具无法在 12 h 内得到最

优解。因此我们选用汉口地区局部路网进行对比试验。该路网规模大约为全市的 1/10,其余如行程时间、需求和候选区位等从原始数据中截取。从表 2 可发现,基于可变邻域搜索的算法虽然没有取得精确最优解,但是其区位解对需求的覆盖比例与 CPLEXR 精确区位解相差较小。对比实验表明,CPLEXR 需要接近 2 h 才能获取第一个最优解,本文采用的启发式搜索算法在 2~3 min 内即可得到近似最优解。

表 2 CPLEXR 与本文算法求解对比

Tab.2 Comparison of CPLEXR and our Algorithm

时段	覆盖比例差	计算时间/s	
		CPLEXR	本文算法
00:00~03:00	0.32%	10 103	128.0
03:00~06:00	0.33%	11 356	145.2
06:00~09:00	1.13%	13 568	177.0
09:00~12:00	0.96%	12 559	170.3
12:00~15:00	1.07%	10 874	165.2
15:00~18:00	0.55%	10 785	181.5
18:00~21:00	0.84%	11 982	180.3
21:00~24:00	0.08%	10 095	132.7

设计实验三以分析重部署情况。图 1 显示了与表 1 相同参数设置下的重部署次数与覆盖比例在一天中不同时段的变化情况。随着新时段交通条件和需求水平的变化,救护车辆可在不同区位之间进行调动,以提高新时段中急救需求的覆盖

比例。当总共重部署次数受到 $M_T = 50$ 的约束时,实际模型建议的车辆重定位移动一共是 38 次。而当 $M_T = 90$ 时,可以执行的重定位移动次数为 70。可以清楚地看到,当重定位移动增加后,急救服务的覆盖比例有了一定的提高,尤其是在晚高峰时段。但是重部署过于频繁会导致救护人员的疲劳,因此需要根据实际情况进行设置。

4 结 语

本文介绍了一种面向公平分配的时变应急服务覆盖优化模型,通过武汉市实际数据测试表明,该模型可以较好地考虑不同时段下交通条件造成的覆盖范围变化,相比传统 MCLP 模型能更好地实现覆盖服务区位的公平分布;该算法求解迅速,适合于时变条件下应急服务的在线部署应用。本研究的主要创新点为,首先,显式地提出了以基尼系数为核心的应急覆盖优化目标函数,使得覆盖服务的时空分配可以通过调整模型来动态调整;其次,针对提出的公平应急服务覆盖模型,开发实现了基于可变邻域搜索的求解算法,显著提高了求解效率。采用武汉市实际路网、交通数据对模型进行了全面测试,验证了模型在动态应急服务区位配置问题上的优势。今后将进一步丰富模型的内容,如考虑应急资源的繁忙概率、应急需求的在线变化和区位的容纳水平等,从而更好地模拟实际情况,建立更完善的应急服务覆盖方案。

参 考 文 献

[1] Murray A T, O’Kelly M, Church R L. Regional Service Coverage Modeling[J]. *Computers and Operations Research*, 2008, 35(2): 339-355

[2] Matisziw T, Murray A T. Area Coverage Maximization in Service Facility Siting[J]. *Journal of Geographical Systems*, 2009, 11:175-189

[3] Murray A T, Wei R. A Computational Approach for Eliminating Error in the Solution of the Location Set Covering Problem[J]. *European Journal of Operational Research*, 2013, 224: 52-64

[4] Yu Yan, Guo Qingsheng, He Jianhua, et al. Gradual Optimization of Urban Fire Station Location Based on Geographical Network Attribute[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2005, 30(4): 333-336(俞艳,郭庆胜,何建华,等.顾及地理网络特征的城市消防站布局渐进优化[J].武汉大学学报·信息科学版, 2005, 30(4): 333-336)

[5] Liu Lang, Huang Youfang, Pang Jinhui. Method of Location Selection of Emergency Material Depot in Weighted Networks[J]. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 2011, 2:244-252(刘浪,黄有方,逢金辉.加权网络应急物资储备点选址方法[J].北京理工大学学报, 2011, 2: 244-252)

[6] Kong Yunfeng. Optimal School Allocation Using GIS and Linear Programming[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(5): 513-515(孔云峰.利用 GIS 与线性规划学校最优学区划分[J].武汉大学学报·信息科学版, 2012, 37(5): 513-515)

[7] Li Shaolin, Du Qingyun. Suitability of Regional Multi-airports Planning by Hierarchical P-Median Location Model[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(8): 988-991(李绍琳,杜清运.利用梯阶中值选址模型进行区域机场群布局适应性研究[J].武汉大学学报·信息科学版, 2012, 37(8): 988-991)

[8] Schmid V. Solving the Dynamic Ambulance Relocation and Dispatching Problem Using Approximate Dynamic Programming [J]. *European Journal of Operational Research*, 2012, 219: 611-621

[9] Saydam C, Rajagopalan H, Sharer E. et al. The Dynamic Redeployment Coverage Location Model[J]. *Health Systems*, 2013, 2:103-119

[10] Church L, ReVelle C. The Maximal Covering Location Problem[J]. *Papers of the Regional Science Association*, 1974, 32: 101-118

[11] Deaton A. Analysis of Household Surveys[M]. Baltimore MD: Johns Hopkins University Press, 1997

[12] Hansen P, Mladenovic N. Variable Neighborhood Search [J]. *Computers & Operations Research*, 1997, 24 (11): 1 097-1 100

Equity-Oriented Time -Varying Emergency Management Service Coverage Optimization

ZHANG Tong¹ MA Shuai² SHEN Hong³

- 1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,
Wuhan University, Wuhan 430079, China
- 2 The 3rd Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin 300251, China
- 3 Kunshan Honghu Information Service Co., Ltd., Kunshan 215347, China

Abstract: Emergency management services, such as emergency medical service, disaster relief, and homeland security, are required to be located in specific locations according to realistic situations. They are supposed to reach the scene within a target time and deliver emergency management services. In light of time-varying traffic conditions, these services should be relocated accordingly. Further, equality should be accounted for to provide reasonable service distribution. Traditional regional coverage models rarely explicitly consider equality issue. In particular, the relationships between service distribution and model constraints are usually not modeled given time-varying traffic conditions with complex road networks. Based on recent progress in regional coverage modeling, this study extends traditional location set covering models and establishes a time-varying emergency management service coverage model that explicitly considers equality. We further introduce an efficient solution algorithm and perform a comprehensive comparative analysis of three equality constraints. The experiments with Wuhan road networks demonstrate that our model can obtain more equable service coverage than traditional models, thus promoting the quality of emergency management services.

Key words: equitable allocation; time-varying; MCLP; emergency management services; optimization

First author: ZHANG Tong, PhD, associate professor, specializes in the high-performance geocomputation and spatial optimization. E-mail: zhangt@whu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41271400; Open Research Fund Program of Shenzhen Key Laboratory of Spatial Smart Sensing and Services (Shenzhen University); Shenzhen Science & Technology Program, No. JCYJ20140828163633980; 2014 Kunshan High-Level Innovative and Entrepreneurial Talents Program, No. 31.