

鲁长江,程奕,刘杨,等.城市紧急疏散集结点人员分配多准则模型研究[J].华北地震科学,2018,36(2):43-46.

城市紧急疏散集结点人员分配多准则模型研究

鲁长江,程奕,刘杨,肖术连

(四川省地震局,成都 610200)

摘要:针对地震等重大突发事件引起的城市人员紧急疏散策略问题,提出了设立紧急疏散集结点,以及一种基于空间替换机制的集结点人员分配多准则模型。考虑到城市人口在空间分布上的不均匀性,该模型对预计受灾人口采用空间单元的形式,进行集结点分配;同时,该模型综合考虑了每个集结点的设计容量、排他性分配、服务范围以及预受灾人员的总行程等因素,以确保每个集结点的设计容量不超限,所有被疏散人员的总行程最小,并尽可能保证每个集结点服务范围具有空间连续性,从而为城市人员紧急疏散提供科学依据和辅助决策。

关键词:地震应急避难场所;紧急疏散;集结点;人员分配;空间替换

中图分类号:P315.9;TP311.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-1375(2018)02-043-004

doi:10.3969/j.issn.1003-1375.2018.02.007

0 引言

地震应急避难场所是指为应对地震等突发事件,经规划、建设,具有应急避难生活服务设施,可供居民紧急疏散、临时生活的安全场所^[1]。自2003年中国第一个应急避难场所的试点建设在北京元大都城垣遗址公园完成,全国各地纷纷开始了避难场所的规划及建设^[2]。《地震应急避难场所场址及配套设施》、《地震应急避难场所运行管理指南》^[3]等一系列国家标准也相继发布。

对于将城市中受影响区域内的全部人员疏散到应急避难场所的大规模疏散^[4],包括应急避难场所所在的基础设施的完善和加强都被认为是最主要的影响因素^[5]。但考虑到紧急疏散的时间紧迫性问题,在疏散区域离避难场所距离较远的情况下,利用城市广场、绿地、学校等设施,设立临时疏散集结点,并预先设定疏散路线图,明确指定每个居民或团体(如一个社区)可以快速疏散到哪个集结点,最后再通过政府组织将集结点内的避难人员疏散到附近应急避难场所,对于保护地震灾难中的居民则是更加关键的。

因此,假设所有紧急疏散集结点的位置已经确定,并且能够集结附近所有居民,当地震等重大突发事件发生后,综合考虑每个集结点的容量受限性和

人口分布的空间不均匀性,使得预计的受灾人口能够被科学地分配集结点,将是本文的主要研究内容。

1 多准则模型

1.1 模型分配原则

本文提出的城市紧急疏散集结点人员分配多准则模型设定的人员分配原则包括:容量不超限、分配唯一、受灾人员总行程最小、服务空间连续4方面。

1) 容量不超限

政府和相关部门有责任建设或征用一定数量的集结点,并确保这些集结点的总容量能够容纳附近所有居民。但是,由于每个集结点容量有限,有时指定全部居民到最近的集结点并不妥当^[6]。因此,在灾害突然发生,并需要将较大范围内的受灾人员快速转移到避难场所时,每个集结点被分配到的人员数量就不能超过其最大设计容量。

2) 分配唯一

在保证每个集结点分配的受灾人员数量都不超过其最大设计容量的前提下,为每个居民或组织都设定一条疏散路线,划定一个集结点,将是十分必要的。那么,划定的集结点及其服务范围,就必须具有排他性,并且能够覆盖整个疏散区域。

3) 受灾人员总行程最小

受灾人员总行程是指所有受灾居民从住处疏散

到指定集结点的距离总和。考虑到旅行成本,受灾人员应该被疏散到最近的集结点。如果最近的集结点容量已经超限,可以疏散到其他集结点,但必须使受灾人员的总行程最小化。

4) 集结点服务空间连续

当受灾人员没有被分配到最近的集结点时,将不得穿过其他集结点的服务范围,到达指定的集结点。这时,有效疏散的难度将加大,并且会造成大量的人流冲突。因此,分配集结点时,必须考虑集结点之间服务范围的连续性。

1.2 模型目标函数

根据上述原则,模型目标函数定义如下:

$$\text{Min} \left\{ S = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N p_i s_{ij} \omega_{ij} \right\} \quad (1)$$

s. t.

$$\sum_{j=1}^M \omega_{ij} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N p_i \omega_{ij} \leq C_{j \max} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^M C_{j \max} \geq \sum_{i=1}^N p_i \quad (4)$$

式中: S 为总行程; N 为空间单元数量; M 为集结点数量; i, j 分别为空间单元和集结点的编号; p_i 为空间单元 j 内的人员数量; s_{ij} 为从空间单元 i 到集结点 j 的行程; ω_{ij} 为分配系数,当空间单元 i 被分配到集结点 j 时,赋值为1,否则为0。

式(2)保证每个空间单元都能分配到一个集结点;式(3)保证每个集结点分配到的实际人员数量小于最大设计容量 C_{\max} ;式(4)保证所有集结点的设计容量能够容纳全部疏散人员。

1.3 模型算法

针对城市人员空间分布的不均匀性问题,分配模型将居民区划分为若干具有排他性的空间单元,每一位居民都被归入不同的空间单元,并假设空间单元内部的人员分布是均匀的。同时,假设突发灾害发生后,城市路网物理结构基本完好。

开始模型算法前,每个集结点初始化建立一个单链表,用于存储分配到的空间单元。单链表中,元素按照优先级排列,定义为:

1) 如果 $\omega_{ij_n} = 1$, 其在单链表中的编号为 Pr_{ij_n} ;

2) 如果 $\omega_{ij_n} = 1, \omega_{ij_m} = 1$, 且 $s_{ij_n} < s_{ij_m}$, 那么 $Pr_{ij_n} < Pr_{ij_m}$;

3) 如果 $\omega_{ij_n} = 1, \omega_{ij_m} = 1, s_{ij_n} = s_{ij_m}$, 且 $P_{i_n} \leq P_{i_m}$, 那么 $Pr_{ij_n} < Pr_{ij_m}$ 。

模型算法思想为:

一个待分配的空间单元 U 被分配到集结点 R (即插入集结点 R 的单链表中), 须满足下列条件之一:

$$\textcircled{1} C_{R \text{ act}} \leq C_{R \text{ plan}}$$

$$\textcircled{2} C_{R \text{ act}} > C_{R \text{ plan}} \text{ and } s_{Rj \text{ last}} > s_{RU}$$

$$\textcircled{3} C_{R \text{ act}} > C_{R \text{ plan}}, s_{Rj \text{ last}} = s_{RU}, \text{ and } p_{j \text{ last}} > p_U$$

其中: j_{last} 表示集结点 R 的单链表中的最后一个空间单元;条件①表示集结点 R 有剩余容量;条件②和③表示,空间单元 U 比集结点 R 的单链表中的其他空间单元拥有更高的优先级。

对每一个空间单元 i ,算法在所有集结点 j 中按照 s_{ij} 的升序寻找一个满足插入条件的集结点。如果最近的集结点 j_1 满足条件,则直接插入,即将 i 插入到 j_1 的单链表中, $\omega_{ij_1} = 1$;否则,采用空间替换的方法调整空间单元与集结点之间的关联关系,减少总行程,并保持服务范围的空间连续性。

空间替换的思想是:待分配空间单元 a ,如果通过直接插入分配的集结点 j_l 不是 a 的行程最近集结点,那么,就寻找一个替换空间单元 b , b 已经被分配给了与 j_l 服务范围相邻,且到 a 行程又较近的集结点。然后,空间单元 b 重新分配给 j_l ,而 a 插入到替换单元 b 。

目标函数为:

$$\text{Max} \{ SC_s = s_{j_k a} + s_{j_l b} - (s_{j_l a} + s_{j_k b}) \} \quad (5)$$

式中: a 为待分配集结点的空间单元, b 为可替换的已分配了集结点的空间单元, j_l 为直接插入分配的集结点, j_k 为其他集结点。

算法整体逻辑过程如图1:

2 模型仿真

图2仿真模拟了一个未分配集结点的空间单元 a ,根据上述模型算法,采用直接插入(图2II)和空间替换插入(图2IV)的效果。

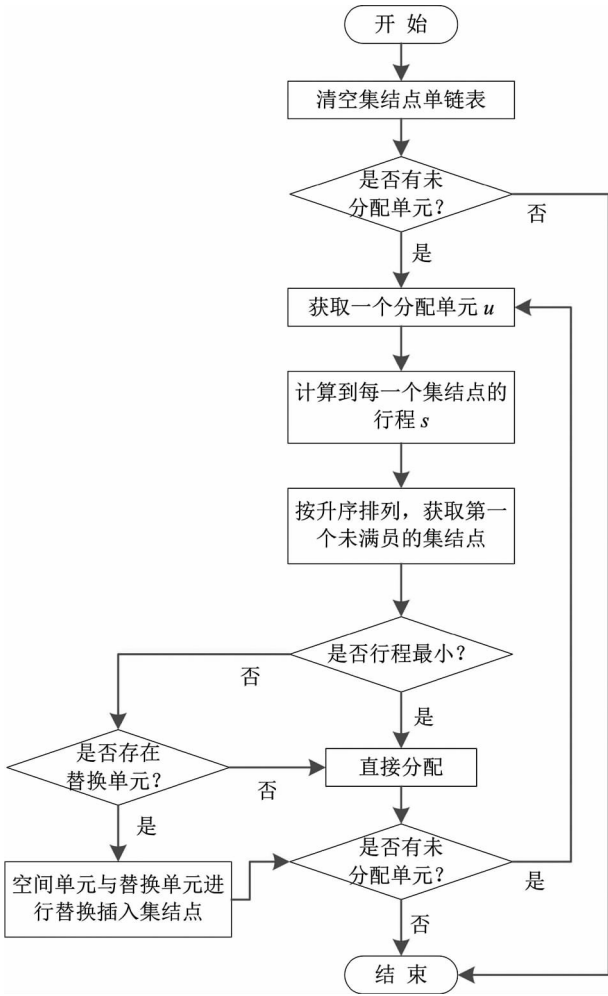


图 1 算法整体逻辑过程

图 2 中有 3 个集结点 R1、R2、R3, 其中, R1 和 R2 分配的空间单元已达到容量上限 C_{max} , R3 还有可分配的剩余空间单元(如图 2 I 中空白区域)。空间单元 a 尚未分配集结点, 根据插入规则, 只能被分配给 R3。但由于 $s_{R1a} < s_{R2a} < s_{R3a}$, 将 a 分配给 R3 会影响 R3 的空间连续性, 同时增加了总旅行成本。因此, 采用替换插入的方法, 在 R1 或 R2 中寻找一个与 R3 的服务范围相邻的替换单元 b。这时, b 占用的容量就空出并被分配给 a, 而 b 的容量就被分配到 R3 的剩余单元。

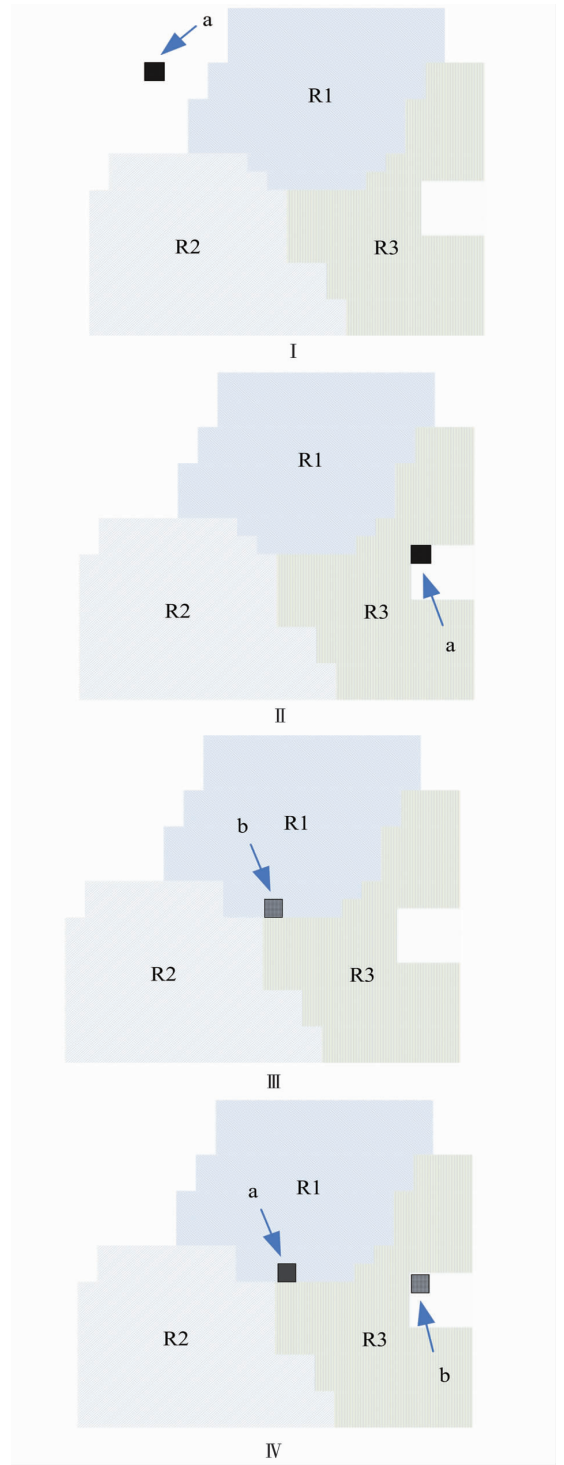


图 2 模型仿真

3 结论

城市地震应急避难场所由于普遍同时具备城市避难和休闲的功能, 而且自身规模一般较大, 因此, 与其他公共服务设施存在较大差异。我们认为, 只要应急避难场所的服务范围能够覆盖城市全部区

域, 其空间布局就是合理的。

但城市的发展往往快于应急避难场所的发展, 因此, 在城市局部区域还未完全被应急避难场所服务范围覆盖的前提下, 通过设置紧急疏散集结点, 充当临时紧急避难场所, 将对缓解城市整体疏散压力和风险具有积极作用。

本文模型中提出的空间替换方法,通过计算各个集结点自身的服务范围、设计容量等参数,可以对服务范围内的居民实现有效疏散避险,最大程度地

节约受灾人员疏散的总行程,从而达到有效疏散、有序撤离的目的。

参考文献:

- [1] GB 21734-2008, 地震应急避难场所场址及配套设施[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [2] 汪建, 赵来军, 王珂, 等. 地震应急避难场所建设的需求与人因分析[J]. 工业工程, 2013, 16(1): 9-13, 24.
- [3] GB/T 33744-2017, 地震应急避难场所 运行管理指南[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [4] 马宏亮. 基于动态交通分配的应急救援与疏散系统研究与开发[D]. 北京: 清华大学, 2015.
- [5] 邓砚, 苏桂武, 高娜. 地震应急救援影响因素重要性认识的调查和分析[J]. 灾害学, 2016, 31(3): 177-183.
- [6] 李久刚. 城市应急避难场所服务区决策模型及选址优化方法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2011.

A Multi-criteria Model for Personnel Allocation of Urban Emergency Evacuation Rally Points

LU Chang-jiang, CHENG Yi, LIU Yang, XIAO Shu-lian

(Sichuan Earthquake Agency, Chengdu 610200, China)

Abstract: To solve the urban personnel emergency evacuation strategy caused by major emergencies such as earthquakes, setting emergency evacuation rally points, a multi-criteria model based on space interchange mechanism is proposed. Considering the uneven spatial distribution of urban population, the model distributes the rally points for the pre disaster-affected population by taking the form of space units. At the same time, taking into account of the factors including design capacity of each point, exclusive distribution, service range and pre affected staff travel, the model will ensure that the design capacity of each point is not overrun, the total travel of all evacuees is minimum, and the service range of each point is spatially continuous as far as possible. Which will provide city emergency evacuation a scientific basis for decision making.

Key words: earthquake emergency shelter; emergency evacuation; rally point; personnel allocation; space interchange

欢迎订阅《华北地震科学》

《华北地震科学》是由河北省地震局主办的地震科学综合性学术刊物,国内公开发行人。主要刊登地震学方面具有创新性的研究成果,也登载地球物理、地震地质、地震工程等方面的学术论文及国内外地震科学研究的最新进展和成果。

《华北地震科学》为季刊,每季末出版,每年4期,每期定价15元,全年定价为60元(含邮寄费)。2018年继续由编辑部直接发行。欲订本刊的读者朋友可通过全国非邮发报刊联合征订服务部或与本刊编辑部联系。

(1) 全国非邮发报刊联合征订服务部

邮 编: 300381

地 址: 天津市卫津南路李七庄邮局 9801 信箱全国非邮发报刊联合征订服务部

电 话: 022-23973378, 022-23962479

传 真: 022-23973378

E-mail: wms@lhzd.com

(2) 本刊编辑部

邮 编: 050022

地 址: 石家庄市槐中路 262 号《华北地震科学》编辑部

电 话: 0311-85814313

E-mail: he3g@eq-he.ac.cn; hbdzcx2015@163.com