

基于加权 Voronoi 图的三明市绿地避难责任区划分

洪婷婷¹, 吴荣良², 郭 闽¹, 郑郁善^{1*}

(1. 福建农林大学 艺术园林学院, 福建 福州 350002; 2. 福建农林大学 林学院, 福建 福州 350002)

摘 要:通过运用 ARCGIS9.3 分析城市安全空间, 筛选城市绿地避难场所, 根据避难场所的规模确定其服务半径从而计算出加权半径和加权距离。通过运用 OVD 和 WVD 方法分别得出避难场所的责任区。结果表明, 相比于传统的 OVD 方法确定的避难场所责任区间的空间关系, 使用 WVD 方法划分的避难场所责任区的覆盖范围更直观, 划分的结果也更为合理。

关键词:绿地避难场所; Voronoi 图; 加权距离; GIS

中图分类号: S731.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-7461(2013)03-0255-05

Division of the Green Space Shelter Based on the Weighted Voronoi Diagram

HONG Ting-ting¹, WU Rong-liang², GUO Min¹, ZHENG Yu-shan^{1*}

(1. Art and Landscape College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China;

2. Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China)

Abstract: The urban security space was analyzed by using ARCGIS 9.3 to select urban green shelter. The service radius was determined according to shelter size, and the weighted radius and distance were further calculated. The responsible shelter areas were divided through the methods of OVD and WVD, respectively. Compared to the space relationship between the shelter areas determined by the traditional method of OVD, the coverage of responsible shelter area from WVD method was more intuitive and rational.

Key words: greenbelt shelter; Voronoi diagram; the weighted distance; GIS

汶川地震后,住房和城乡建设部为进一步加强城市绿地系统建设,完善城市绿地系统的防灾避险功能,提高城市综合防灾避险能力,于2008年颁布了《关于加强城市绿地系统建设提高城市防灾避险能力的意见》。近年来,北京、上海、南京、杭州等大城市陆续出台了关于避难场所的规划及纲要,并针对大中城市的绿地布局、避难场所的选择以及避难设施的建设进行了研究^[1-4]。实践表明,根据城市绿地应急避难场所的位置,科学地划分应急避难责任区并进行广泛地宣传教育,使市民熟悉避难场所位置和路线,是实现紧急避难的最有效办法。

根据城市受灾范围,排除灾害源,确认城市安全空间范围,构造绿地应急避难场所评价体系,筛选绿地避难场所,确定绿地避难场所分布点及服务范围是城市应急避难场所责任区划分的主要任务。需要

运用空间量计算、空间统计分析、缓冲区分析等复杂的空间数据分析。以前绿地避难场所的规划往往依靠主观判断,责任区范围划分缺乏科学依据。福建省规划设置2万个自然灾害应急避难场所,但缺乏规范的评定方法和指标^[5]。因此,本研究以三明市为例,在确定绿地应急避难场所责任区域时,通过计算各责任区的加权半径,使用加权 Voronoi 图方法确定责任区域,并将结果同采用常规 Voronoi 图得出的场所空间位置划分责任区域进行比较。

1 研究区概况

三明市地处武夷山脉与戴云山脉之间的沙溪河谷盆地上,是典型的山区丘陵型城市。地势从西北、西南往东北倾斜,略似马鞍形,四周为海拔1 000 m 以下的丘陵。闽江支流沙溪河由西南向东北贯穿全

收稿日期:2012-12-10 修回日期:2013-01-30

作者简介:洪婷婷,女,在读博士,研究方向:城市绿地防灾避难机能。E-mail:fjolive@qq.com

* 通信作者:郑郁善,男,教授,博士生导师,研究方向:园林植物与观赏园艺。E-mail:zys1960@163.com

市,城市处在狭长的山川河谷盆地内,盆地地势平坦,海拔 130~150 m,坡度 8~10°。全区构成以低山为主,多山地、多丘陵、多盆谷的层状结构明显的地貌,可分为山地、丘陵、河谷平原与盆地及水域四类,其中山地、丘陵与盆地面积占总面积 99%以上,河谷平原与水面不到 1%。本研究以三明市建成区为基础,其辖梅列、三元两区,总面积 11 839 hm²,2010 年户籍人口 31.1 万。

三明市城市是处于河谷地带的山区城市,从地理条件及地震带分布情况,结合 10 a 来相关统计数据,三明市第一大类灾害为洪水,其次是地质灾害。全市统计的灾害类型主要以滑坡、崩塌为主,其次是不稳定斜(边)坡、泥石流、坍塌等。以火灾为主的次生灾害为第 3 类灾害。作为一个工业城市,三明市还分布着大量的化工厂以及化学仓储,因而,由化学物质引起的火灾也是三明市主要的次生灾害之一。虽然自然灾害种类繁多,但可以其中一种作为主要防治对象^[6]。因此,三明市主要防治的灾害为洪水,在避难场所划分的时候,设置安全距离,防止人员受到 2 次伤害是避难场所选址的关键。

2 研究方法 及 原理

2.1 OVD 和 WVD 原理

Voronoi 图(Voronoi Diagram 简称 VD)演变形式多样,分为常规 VD(OVD: Ordinary Voronoi Diagram),加权 VD(WVD: Weighted Voronoi Diagram),功率 VD 等。20 世纪 90 年代以来,GIS 技术已成为空间建模和分析的工具^[7]。

1) OVD

定义:设二维欧几里德平面上离散生长点集合的 $P, P = \{p_1, p_2, p_n\} (2 \leq n < \infty)$,由

$$V(p_i) = \{p \mid d(p, p_i) \leq d(p, p_j), j \neq i, \} (i = 1, 2, \cdots, n)$$
 (1)

将离散分布的点 p_i 连接形成三角形,作这些三角形所有边的垂直平分线,于是每个离散点周围的垂直平分线就会围和成为一个多边形。用这个形成的多边形内的唯一点的值来表示这个区域的数值或强度,并称这些多边形为 OVD。

局域动态特征是指删除或增加一个空间生长目标,一般只影响相邻空间生长目标,即影响 Voronoi 图的局部范围^[8]。

2) WVD

定义:设二维欧几里得平面上离散生长点集合的 $P, P = \{p_1, p_2, p_n\} (2 \leq n < \infty); w_i (i = 1, 2, \cdots, n)$ 是给定的正实数,由

$$V(p_i, w_i) = \{p \mid d(p, p_i)/w_i \leq d(p, p_j)/w_j, j$$

$$\neq i, (i = 1, 2, \cdots, n)$$
 (2)

给出范围内存在的离散点 p_i ,如上法得出点的加权 Voronoi 图,其中 w_i 代表离散点的权重。那么加权距离就是其权重除其欧几里得距离所得。

权重的值受时间,费用等因素的影响。相邻 2 个区域的边界由圆弧组成。WVD 多用于各生长点权重有较明显差别的空间剖分,因此适合于避难场所的责任区划分,场所作为生长点,加权距离作为 WVD 权重^[9]。在实际操作中,对于局部新增或减少的避难场所还可以利用加权 Voronoi 图方法的局域动态特征进行局部更新,避免重新规划^[10]。

2.2 绿地应急避难场所责任区研究步骤

2.2.1 城市绿地应急避难场所的筛选 城市绿地应急避难场所的筛选主要是通过外部环境 with 内部环境的综合评价选择。对外部环境筛选时通过使用 ARCGIS 的空间分析功能,分析得出安全绿地的空间分布。即在城市绿地分布图上,通过 GIS 叠加各种灾害及次生灾害的警示带分布图,剩余未被灾害警示带叠加的绿地为城市的安全绿地。内部环境的筛选是计算出城市绿地的有效避难面积。有效避难面积是指在城市绿地中能为灾民提供避难场地的面积^[11]。一般是城市绿地的总面积扣除水域面积、沼泽面积、山地面积、消防道路使用面积、受次生灾害影响的面积等不适合灾民避难的区域面积,还包括特定区域内的村庄厂矿企业,重要建筑物等可能受到最大山体灾害的连片范围^[12]。有效避难场所的面积决定了绿地避难场所的级别。<2 000 m² 的为紧急避难场所,2 000~10 000 m² 的为固定避难场所,>10 000 m² 的为中心避难场所。

2.2.2 绿地应急避难场所评价因子和评分标准

根据上文确定的避难场所的等级,随后根据各类避难场所对应的服务半径和条件,邀请专家对影响避难场所的各因子进行打分^[13],建立判断矩阵,最后得出符合一致性检验要求的权重。选用 7 个因素构成评价体系及评分等级见表 1。

2.2.3 绿地避难场所各因子的权重计算 为确定避难场所的责任区范围影响因子的权重,采用层次分析法(AHP 法)以引入合理标度,通过比较各因子之间的相互关系以及构建判断矩阵,来求解最大特征值 λ_{max} 和与之对应的特征向量^[14]。设评价目的层权重为 1.0,评价层次权重采用九度标度定义,判断矩阵的元素用 Santy 的 1~9 标度方法给出(表 2)。

邀请 10 位专家参与评价,根据标度完成评分后取其平均值完成其判断矩阵如表 3 所示。

根据公式求解得出 7 个因子的相应权重,如表 4 所示。

表 1 绿地避难场所评价因子和评分标准

Table 1 Evaluation factors and scoring criteria of green shelter

因子	内容	得分	说明
场地情况(A ₁)	有利地段	5	地势平坦无次生灾害隐患
	不利地段	2	少有次生灾害隐患
	危险地段	1	有严重次生灾害隐患
地形(A ₂)	好	5	平地
	中	3	坡地
	差	1	陡坡
场所类型(A ₃)	广场,体育场	5	大型空旷地带,设施完备,交通方便
	公园	4	有较大绿地面积,基础设施比较完善
	停车场,操场	3	空旷地面积较大,但基础设施不够完备
救灾路线(A ₄)	宽度≥15 m	5	能够保证道路的交通通畅,物资的顺利往来,且能够承受一定烈度
	宽度≥8 m	3	能满足消防车的进出
有效面积(A ₅)	≥1.5 hm ²	5	指场所内的实际避难面积,去除水域,房屋,山体等因素
	≥1.0 hm ²	4	
	≥0.5 hm ²	3	
灾害影响状况(A ₆)	好	5	满足防火隔离带的要求,处于不易发生火灾区,有确保水源的消防栓
	中	4	满足防火隔离带的要求,远离危险源,有确保水源的消防栓
	合格	3	基本满足防火隔离带要求,有确保水源的消防栓
基础设施状况(A ₇)	好	5	可发挥避灾场所的救援功能
	中	4	经过短时间设置,可满足避灾场所的救援功能
	合格	3	经过较长时间的设置才能满足避灾场所的救援功能

表 2 判断矩阵元素的标度方法

Table 2 Scaling method to determine the matrix elements

标度	含义
1	表示 2 个因素相比,具有相同重要性
3	表示 2 个因素相比,前者比后者稍重要
5	表示 2 个因素相比,前者比后者明显重要
7	表示 2 个因素相比,前者比后者强烈重要
9	表示 2 个因素相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示上述相邻判断的中间值
倒数	因素 <i>i</i> 与因素 <i>j</i> 比较的判断为 <i>a_{ij}</i> ,则因素 <i>j</i> 与因素 <i>i</i> 比较的判断 <i>a_{ji}</i> = $\frac{1}{a_{ij}}$

表 3 影响因子判断矩阵

Table 3 The judgment matrix of impact factor

	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇
a ₁	1	1/2	4/5	7/9	4	7/4	5/2
a ₂		1	1/3	2/7	6	5	4
a ₃			1	3/7	4	3	3
a ₄				1	7	6	6
a ₅					1	2/3	2/3
a ₆						1	3/5
a ₇							1

表 4 影响因子权重

Table 4 Impact factor weights

因子代码	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆	a ₇
RI	0.140	0.172	0.197	0.340	0.039	0.053	0.060

经过计算得出最大特征值 $\lambda_{\max}=7.431$, $CI=0.072$, $RI=1.320$, $R=0.055<0.1$,满足一致性要求,该权重有效。

2.2.4 绿地应急避难场所加权距离的计算 绿地避难场所根据其自身的有效避难面积大小共分为中心、固定和紧急避难场所 3 大类,分别对应的服务半径为 2 000~4 000 m,500~2 000 m 和 500 m。绿地固定避难场所初始 2 000 m 责任区服务半径指的是以场所外轮廓开始的缓冲距离^[15]。加权服务半径的计算方法为各个绿地的自身半径加上责任区覆盖半径的 7 个因子的权重和分数乘积之和除以因子个数。通过将各场所的自身半径(不参与 7 因子权重计算)与上述方法可得出各场所避难所需的加权服务半径相加,可以算出使用 WVD 方法互相比对的加权距离。如表 5 为各绿地的基本参数和加权距离的计算过程(以城关中心绿地为例)。

2.3 研究方法

收集三明市建成区的人口分布、土地利用、近 10 a 地震洪水等自然灾害的统计资料以及三明市建成区绿地系统规划文本(2005—2020),邀请专家对三明现有的绿地避难场所及影响绿地避难场所的各个因素重要程度进行评价。经过筛选整理出适合作为避难场所的绿地,并计算出各绿地的有效避难面积和容量,结合绿地避难场所各因素权重计算出其加权距离,将所得的数据及三明市绿地应急避难场所分布图(CAD 格式)导入 ARCGIS9.3 平台,在 GIS

表 5 绿地基本参数和加权距离计算过程

Table 5 Greenbelt basic parameters and the weighted distance calculation process

场地名称	场地情况	地形	场所主要 类型	救灾路线	可利用 面积/m ²	灾害影响 状况	基础设施	总得分	场所 半径/R1	加权 半径/R2	加权 距离/R
城关中心 绿地 得分	好	好	好	8	16 800	好	中	34	73.15	1 978	2 051.15
计算过程	5	5	5	5	5	5	4				
$R=R1+R2=73.15+2\,000\times(5\times0.14+5\times0.172+5\times0.197+5\times0.053+5\times0.34+5\times0.039+4\times0.06)/5=2\,051.15$											

中分别使用 OVD 和 WVD 两种方法进行避难场所的责任区划分,并通过分析比较得出较为科学合理的责任区划分方法,为完善三明市的避难场所体系提供理论依据。

3 结果与分析

3.1 安全绿地空间分布分析

三明市建成区被沙溪河一分为二,两岸绿地沿线分布,共计 106 块绿地 1 227.22 hm²,其中公园绿地所占比例最大为 39.5%。将各绿地的轮廓线导入 ARCGIS9.3 中,分析其几何中心点,并以其为标识基点。由于洪水为三明市城区的主要灾害,地质灾害为第二大类灾害,以这 2 种灾害作为城市绿地分布研究的出发点,首先对沙溪河道 20 a 一遇的水位线围合的区域以 100 m 为半径,向两侧做缓冲区,得到洪水警示带;其次对城市沿线的山地轮廓线以 100 m 为半径,向城市方向做缓冲区,得到地质灾害警示带。将洪水警示带及地质灾害警示带进行空间叠加,得出城市灾害警示带(图 1)。

从图 1 可以看出,在三明市绿地中,有 20 块绿地处于洪水警示带,35 块绿地处于山地警示带或者本身就是山地,这 55 块绿地由于地形和地势的因素

存在安全隐患,不适合做避难场所。另外,19 块绿地距离危险带 300 m 范围内,是所有避难场所中离警示带最近的绿地,因此,此区域不适合作为长期避难的场所,应当经过观察,确定城市渡过危险期后,若此区域的绿地并未受到损害,方可使用。经过筛选三明市 106 块绿地中,仅 51 块处于城市安全区范围内,适合做避难场所,统计其总面积为 126.32 hm²(表 6)。分别对着 51 块绿地进行调查,统计出其有效避难面积,得出各组团的有效避难面积。

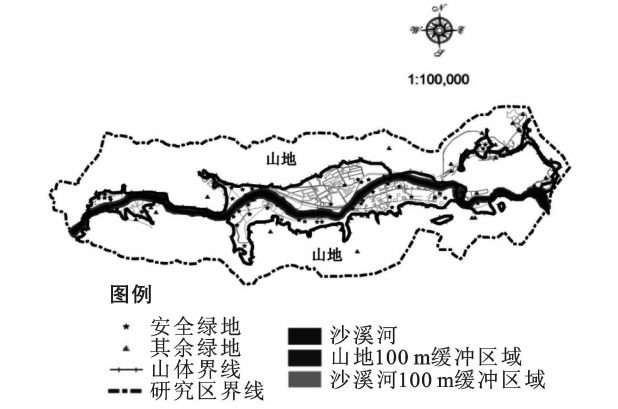


图 1 沙溪河、山地 100 m 缓冲区
Fig 1 One hundred meters of mountainous buffer arca and Shaxi River

表 6 三明市绿地统计
Table 6 Green space of Sanming City

组团名称	用地面积/hm ²	绿地面积/hm ²	安全绿地/hm ²	有效避难面积/hm ²	有效避难率/%
列西组团	735.52	39.41	15.36	8.30	21.06
列东组团	922.99	153.68	53.67	38.90	25.31
城关组团	476.53	75.34	27.86	18.85	25.02
台江组团	191.56	25.35	16.33	10.40	41.03
荆东荆西组团	266.15	24.70	13.10	8.20	33.20
合计	2 592.75	318.48	126.32	84.65	

3.2 基于 WVD 和 OVD 的避难所责任区划分

根据前文方法筛选出的 51 块绿地避难场所分布如图 1 所示,基于 OVD 算法得出 51 个避难场所责任区划分的 Voronoi 图如图 2;根据绿地避难场所的规模,得出各避难场所的服务半径,按照表 5 的计算方法,得到 51 块绿地的加权距离,生成 WVD 图像图 3,图 3 上各点的距离代表着相应绿地的加权距离。图 2 为基于 OVD 图中避难场所责任区的范围划分,若每个相邻的距离相同,则其的权重大小

相等。因为分界线为相邻 2 个场所的中垂线,因此 2 个场所内的对应点到其边界线上任意点的距离相等;图 3 是以加权距离为权重的 WVD 场所责任区划分图。相邻服务区域的半径大小也决定其影响范围的大小,因此,WVD 法所得的区划图边界多为曲线,且相邻场所内对应点到其边界线上任意点的距离同其服务半径的比例系数相同。不再只是单纯依据最短直线距离来进行简单的划分。

图 2 因为根据 OVD 划分的任意点到该场所的

距离相对邻近场所更短,但这样的划分与实际状况没有必然联系。因而 OVD 划分方案虽然能够确保各区域人员到达绿地应急避难场所的空间距离为最短,但忽略了场所的实际容量,与各区域的人口数量、场地的具体条件、应对能力、交通状况、基础设施等因素无关,实际使用价值较低。图 3 中加权距离大的场所比图 2 中相同场所责任区覆盖面积大,即场所具有较大的影响范围,且计算过程充分结合实际周边情况,并根据避难场所边界的道路、河流以及现场环境等因素进行了修改和调整,而非完全依据曲线通过采用空间叠加分析方法。该责任区能够承担服务半径范围内的避难需求。

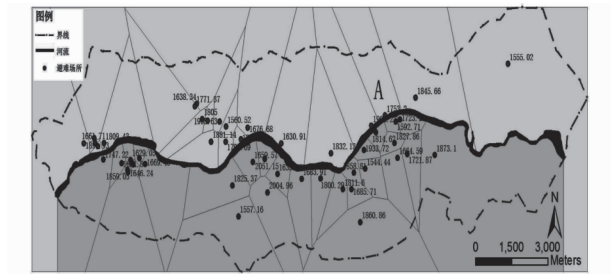


图 2 基于 OVD 的三明市绿地避难责任区 Voronoi 图
Fig. 2 Voronoi diagram based on OVD

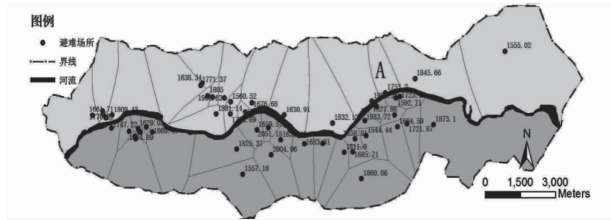


图 3 基于 WVD 的三明市绿地避难责任区 Voronoi 图
Fig. 3 Voronoi diagram based on WVD

因受到地形的限制,图 3 中绿地 A 的加权半径为 1 630 m,其覆盖的范围比基础服务半径得出的图 2 小。根据绿地 A 周边的现场考察情况发现其存在避难通道可达性较弱等缺点,影响了其服务范围。可见基于 WVD 的场所责任区划分更加合理。

4 结论

安全绿地空间分布分析上,三明市 106 块绿地中,仅 51 块绿地处于城市安全区范围内,统计其总面积为 126.32hm²,有效避难面积为 84.65 hm²,占建成区绿地总面积的 10.29%,在三明市的 5 个城市组团中,台江区的有效避难率最高(41.03%),列西组团的有效避难率最低,仅为 21.06%。

通过对比分析 OVD 和 WVD2 种方法发现,通过 WVD 方法确定的避难场所责任区之间的空间临近关系,相对于OVD方法能更直观地反映责任区

的覆盖范围,划分的结果也更为合理。适合城市避难场所建设和规划,能够为城区的防灾避难规划提供有力的依据。

参考文献:

[1] 陈颙,史培军. 自然灾害[M]. 北京:北京师范大学出版社, 2007.

[2] 徐波,赵锋,郭竹梅,等. 城市总体规划修编中对绿地系统规划的基本思考—关于北京城市绿地系统规划的研究与实践(一)[J]. 中国园林,2007,23(6):75-77.

[3] 袁媛,任晓崧. 关于上海市防灾公园规划与建设的探讨[J]. 防灾减灾工程学报,2010,30(4):452-458.

YUAN Y,REN X S. Discussion on planning and construction of disaster prevention park in Shanghai City[J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering,2010,30(4):452-458. (in Chinese)

[4] 毛培,宋伟轩. 建设本地特色的城市避风港—以南京地震应急避难场所规划为例[J]. 城市与减灾,2009(2):29-32.

[5] 潘跃. 构建防灾减灾长效机制—国家减灾委专家委员会福建专项调研侧记[J]. 中国减灾,2011(21):6-8.

[6] 曲良艳,弓弼,金立强,等. 我国城市主要自然灾害类型及其防灾绿地体系构建[J]. 西北林学院学报,2010,25(5):121-127.

QU L Y,GONG B,JIN L Q, et al. Types of urban natural disasters in China and establishment of corresponding disaster-proof green lands system[J]. Journal of Northwest Forestry University,2010,25(5):121-127. (in Chinese)

[7] 陈军. Voronoi 动态空间数据模型[M]. 北京:测绘出版社, 2002.

[8] OKABE A,BOOTS B,SUGIHARA K, et al. Spatial tessellations: concepts and applications of Voronoi diagrams [M]. USA:John Wiley & Sons,Ltd,1992.

[9] AURENHAMMER F. Voronoi diagrams—a survey of a fundamental data structure[J]. ACM Computing Surveys, 1991. 23 (3):345-405.

[10] 李刚,马东辉,苏经宇. 基于加权 Voronoi 图的城市地震应急避难场所责任区的划分[J]. 建筑科学,2006,22(3):55-59.

[11] 洪婷婷. 城市绿地防灾避难机能的研究[D]. 福州:福建农林大学园林学院,2009.

[12] 高甲荣,肖斌. 山地灾害危险区划的原理与进展[J]. 西北林学院学报,2000,15(4):44-49.

GAO J R,XIAO B. Principle and progress in the danger area planning of mountain disasters[J]. Journal of Northwest Forestry University,2000,15(4):44-49. (in Chinese)

[13] 许树柏. 层次分析法原理[M]. 天津:天津大学出版社,1988.

[14] 骆正清. 层次分析法中判断矩阵构造的新方法[J]. 电子科技大学学报,1999,28(5):557-561.

LUO Z Q. A new method for construction of judgement matrix in AHP[J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China,1999,28(5):557-561. (in Chinese)

[15] 伊晓燕,王策. 乌鲁木齐市区城市防灾绿地体系布局研究[J]. 防护林科技,2008(4):49-51.