

一种复合Voronoi几何特征的地标提取新方法

李佳田¹ 吴华静¹ 高鹏¹ 贺日兴² 张文靖¹ 阿晓荟¹ 邓钢¹

1 昆明理工大学国土资源工程学院,云南 昆明,650093

2 公安部信息中心,中国 北京,100741

摘要:地标提取是空间认知与空间知识组织领域的研究热点之一。显著度量模型作为地标提取的主要方法,其原理是地物外观、结构与语义的加权评价。顾及地物的空间分布形态和几何特征,从地物Voronoi图出发,提出复合Voronoi生长元高度、Voronoi k 阶邻域缝隙及Voronoi k 阶邻域可视性特征的地标提取方法,意在探索从个体到邻域的地标几何特征反映。设计实验并与已有方法的提取结果进行对比分析,验证了方法的有效性;相对于地物属性特征,由Voronoi图蕴含的几何特征能够有效地表征地标,降低地标特征选择复杂度。

关键词:地标提取;Voronoi图;复合特征;邻域缝隙;邻域可视性

中图分类号:P237

文献标志码:A

地标是指在一定空间范围内能够被大众熟知,并且在认知和地理意义上均能成为标志的空间形态^[1]。在空间认知过程中,地标是空间知识表达和推理的重要依据^[2],具有多个方向辨识和记忆的功能;在空间位置描述中能够用来辅助描述待定目标的位置、传递信息;在路径选择和导航中,可以有效提高环境的结构化理解,并逐渐建立路径知识和结构知识^[3-6]。

当前地标提取的主要方法是依据相关影响因子来构建显著度模型,通过计算地物目标的显著度提取地标。Sorrows等^[7]将地标定义为地理空间中独立于观察者之外的显著可辨别元素,同时提出地标具有视觉、结构和语义3方面的显著性,认为地物能否成为地标应取决于其是否具有强烈的视觉特征、独特的语义和重要的空间位置^[8]。一些学者提出并发展了以上述3个指标构成的显著度计算模型,其中, Raubal和Winter^[9]从视觉吸引力、语义吸引力、结构吸引力3个方面来构建显著度计算模型。由于地物所处环境与需求的差异,需要根据影响因素来计算地物显著性,Caduff和Timpf^[10]提出了一种更加复杂的显著度计算模型,包括感知、认知和场景3种显著性向量和一系列成员变量。为获取能够用于智能化路径引导的层次性空间知识,赵卫峰等^[11]提出了一种利用兴趣点(point of interest,POI)数据在

城市环境中提取地标的方法。该方法从公众认知、空间分布和个体特征3个方面分析影响POI显著性的因素,构建包括公众认知度、城市中心度和特征属性值3个指标向量的POI显著度计算模型。为及时准确地获取用于智慧位置服务的城市层次性空间知识,王明等^[12]从签到次数、签到用户数和用户影响因子等方面讨论POI显著度,提出一种基于签到数据的POI显著度计算模型。显著度计算模型的核心是通过选取认为重要的多个因子,并将其置入一维线性空间,进而分类并加权最终用于评价。特征因子选取的不确定性、地物目标空间分布特征顾及不足,会使得提取的地标对空间分布的敏感度较弱、相关性不强。

本文有效利用地物目标个体与邻近目标所构成的区域,将目标高度作为几何形态基础,以Voronoi图势力范围构建地物目标缝隙,用于描述目标之间的相互作用。利用地物的Voronoi几何性质,构建显著性计算模型,以实现地标提取,降低特征选取复杂度,增强提取方法的普适性,并验证地物目标的几何形态与邻近目标分布对地标提取的重要性。

1 Voronoi复合特征构建

通常情况下,在不考虑地物特殊语义、结构、

文化等因素时,在可视范围内能够给观察者留下直观印象的往往是那些面积特征、高度特征较为突出的地物,它们具有较强的视觉感染力和参考性。高度特征作为地物典型几何特征之一,不仅是直观的视觉信息,而且是地物在局部空间范围内可视的重要特征^[13]。研究表明,人们在对外界事物的认知中,87% 的信息直接与视觉能力有关,视觉感受是地标的一个不可分割特征^[14]。

1.1 Voronoi 图与相关定义

Voronoi 图是空间剖分的一种基础几何结构,它表现为一组生长元同时向四周扩张,直至相遇所形成的各生长元空间势力范围集合^[15-16]。Voronoi 图蕴涵邻近与势力范围等许多优良的空间概括性质,被认为是研究和解决地理信息科学空间关系与空间分析、空间优化配置等相关问题的有力工具^[17-20]。

定义 1 普通 Voronoi 图:设点集 $P = \{p_1(x_1, y_1) \dots p_n(x_n, y_n)\} \subset R^2$,对于 $p(x, y) \in R^2$,存在 $p_i(x_i, y_i)$ 与 $p_j(x_j, y_j)$,则称式(1)表达的区域为 p_i 的 Voronoi 区域:

$$\text{vor}(p_i) = \left\{ p \mid \|p_i - p\| \leq \|p_j - p\|, i \neq j, i, j \in N \right\} \quad (1)$$

式中, $\|p_i - p\| = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}$ 。则由式(2)表达的图形称为点集 P 的 Voronoi 图:

$$V = \{\text{vor}(p_1) \dots \text{vor}(p_n)\} \quad (2)$$

空间目标之间的位置邻近包括欧氏距离邻近与 Voronoi 邻近两种,Voronoi 邻近在度量及邻近目标分布方面更具有优势^[21]。

定义 2 Voronoi 邻近:存在空间目标集合 $O = \{o_1, o_2 \dots o_n\} \subset R^2$,对于 $\forall o_i, o_j (i \neq j)$, $\text{vor}(o_i) \cap \text{vor}(o_j) \neq \emptyset$ 分别为目标 o_i 与 o_j 的 Voronoi 区域,如果式(3)成立,则目标 o_i 与 o_j 为 Voronoi 邻近:

$$\text{vor}(o_i) \cap \text{vor}(o_j) \neq \emptyset \quad (3)$$

定义 3 Voronoi k 阶邻近:存在目标集合 $O = \{o_1, o_2 \dots o_n\} \subset R^2$,对于 $\forall o_i, o_j (i \neq j)$,如果目标 o_i 经过最小 Voronoi 邻近步数 k 到达目标 o_j ,则称 o_i 与 o_j 为 Voronoi k 阶邻近。

1.2 Voronoi k 阶邻域缝隙

Voronoi 区域面积在一定程度上反映生长元的影响范围,同时也受空间范围内的地物密集程度的影响。顾及地物密集程度,依据 Voronoi 邻近关系、Voronoi 区域面积分布与空间相关性^[22-24],对于独立地物目标,设其面积为 S ,Voronoi 势力范围面积为 S_{vor} ,将其缝隙描述为:

$$q = \frac{S_{\text{vor}} - S}{S_{\text{vor}}} \quad (4)$$

扩展缝隙到 k 阶邻近地物,将 Voronoi k 阶邻域缝隙描述为:

$$Q = q + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n q_{ij} \quad (5)$$

其中, q_{ij} 为地物目标的 k 阶邻近目标; n 为 k 阶邻近目标数目。

图 1 所示为参考目标与其 3 阶邻近目标,斜线填充部分为 Voronoi k 阶邻域缝隙。图 1 与图 2 分别表示目标地物与邻近地物处于不同 Voronoi k 阶邻域缝隙大小下的分布。

图 1 较小的 Voronoi k 阶邻域缝隙

Fig.1 Smaller Voronoi k -order Crevice

图 2 较大的 Voronoi k 阶邻域缝隙

Fig.2 Larger Voronoi k -order Crevice

1.3 Voronoi k 阶邻域可视性

以不同角度进行观察时,由于地物目标之间相互遮挡,不同方向上可视性存在差异,为此,顾及视角范围内地物之间的相关性,考虑将空间范围分割为多个可视域来模拟多视角下地物目标的可视性。而 Voronoi 区域互不重叠,并且连续覆盖整个二维空间,这种连续覆盖可将空间地物目标联系起来,表达目标之间的邻近关系。因此,依据 Voronoi k 阶邻近关系进行可视域分割。设地物目标的 Voronoi 1 阶邻近目标数为 m ,以 m

个目标为基础,将以该目标为参考的局部空间范围分割为 m 个可视域。设参考地物为 c , 则其 k 阶邻近地物集合 N_k 可表示为:

$$N_k = \{\text{vor}_1, \text{vor}_2 \dots \text{vor}_k\} \quad (6)$$

其中, vor_i 为 c 的 i 阶邻近地物集合, $i \leq k$:

$$\text{vor}_i = \{f_{i1}, f_{i2} \dots f_{in}\} \quad (7)$$

设 $|\text{vor}_1| = m$, 则 c 的可视域描述为:

$$V_k = \text{vis}_1 \cup \text{vis}_2 \cup \dots \cup \text{vis}_m \quad (8)$$

那么, 对于 $\forall f \in \text{vis}_i$, $\exists f_{(i-1)n} \in \text{vor}_{i-1} \dots \exists f_{(1)n} \in \text{vor}_1$, 如果式(9)成立:

$$f \in \text{vor}_i \cap \min(\sum \|f - f_{(m)n}\|), 1 \leq m \leq i-1 \quad (9)$$

则称 V_k 是 c 的可视域分割。

图 3 中目标 a 的 1 阶邻近目标有 7 个, 对应地物可分割为 7 个可视域, 其中箭头方向为可视域形成的方向。图 4 表示可视域 7 在经过两次分割后的结果示意, 目标 $f_{11} \in \text{vor}_1$, 目标 $f_{21}, f_{22}, f_{23} \in \text{vor}_2$ 。

图 3 目标地物 1 阶可视域

Fig.3 The 1-order Neighborhood Visibility

在阶数 k 一定的条件下, 可视域分割模拟参考地物能够被观察到的概率, 可反映参考目标的重要程度。图 5 为目地物可视域分割结果。

图 4 目标地物 2 阶可视域

Fig.4 The 2-order Neighborhood Visibility

vis_i 地物集合由部分 c 的 k 阶邻近地物构成:

$$\text{vis}_i = \{f_{1*}, f_{2*} \dots f_{k*}\} \quad (10)$$

加入地物的高度, 用 $f_i.h$ 表达高度, 那么 vis_i

可根据高度进一步地描述为有序数列形式:

$$\text{vis}_i = (f_1, f_2 \dots f_k), f_i.h \leq f_{i+1}.h \quad (11)$$

图 5 目标地物可视域分割结果

Fig.5 Result of All Visual Segmentation

如果存在对应有序数列 d :

$$d = (d_1, d_2 \dots d_k), d_i = \|f_i - c\| \quad (12)$$

那么, vis_i 内地物高度变化趋势可以表示为:

$$h = -gd + b \quad (13)$$

其中, g, b 值可用 (h, d) 估计。当 $g > 0$ 时, vis_i 内地物高度呈现降低趋势, 认为从该方向观察可视域内其他地物不存在相互遮挡, 表明在该分割方向是可视的, 并且 k 越大可视性越强; 若 $g \leq 0$, vis_i 内地物高度呈现逐渐增长或不变趋势, 该分割方向地物之间存在相互遮挡, 表明不可视。

进一步, 用可视的分割数概率度量参考地物 c 的可视性, 描述为 g' , 即:

$$g' = |g|/m, g = \{\text{vis}_i, g_i < 0\} \quad (14)$$

1.4 地标提取计算

以地物高度、Voronoi k 阶邻域缝隙和 Voronoi k 阶邻域可视性为显著度因子构建显著度计算模型, 计算可视域内地物的显著度。为消除显著度因子因度量方法的差异产生的影响, 对显著度因子进行正规化处理, 其中, 地物高度、Voronoi k 阶邻域缝隙变换到区间 $[0, 1]$, Voronoi k 阶邻域可视性变换到区间 $[-1, 1]$ 。将显著度模型描述为:

$$f(X) = w_1 h + w_2/Q + w_3 g' \quad (15)$$

其中, $w_i (i \in \{1, 2, 3\})$ 为权重。

2 对比实验与分析

文献[25]从网页获取地物描述信息, 通过描述语料库对地物进行分类处理, 其提取原理为地标的语言空间词频定量描述。首先根据分词建立地物描述的词与词联系(Graph of Place); 其次将 Graph 分为环境、商业、旅游与其他 4 类; 最后

建立每个类别的 Graph 概率描述。当将某个地物的相关描述通过分词与 Graph 转换为向量后,即可与已存在 Graph 构成的向量计算距离,进而判断类别。与文献[25]方法对比,依据提取结果的重合度来验证本文方法。选取昆明市二环内部分矢量数据(图 6(a)),比例尺为 1:2 000,采用当

地坐标系,包含 1 918 个面状地物,对应生成的 Voronoi 图如图 6(b)所示。收集地物的网页形式描述,根据地物属性分为环境、商业、旅游与其他 4 类,并采用搜狗输入法词库进行分词处理(约包含 110 万个词汇),得到每类的 Graph(分别为 1 245、3 543、2 196、1 588 个)以及 Graph 的相关频率。

图 6 实验区域数据与地物 Voronoi 图

Fig.6 Experimental Data and Voronoi Diagrams of the Objects

首先对实验区域内地物进行可视域分割,并计算 Voronoi k 阶邻域缝隙和 Voronoi k 阶邻域可视性,然后按照显著性度量模型进行地标提取。地物的数据结构中, id 为地物目标唯一标识; h 、 $area$ 、 $area_v$ 分别描述地物高度、面积和 Voronoi 区域面积; k_v 表示所属参考地物的 Voronoi 邻近阶数; g_v 表示所属参考地物的可视分割区域标识。

根据式(12), w_1 、 w_2 、 w_3 分别设为 0.4, 0.3, 0.3, 图 7(a)中紫色目标为利用本文方法所提取的地标,共 35 个,图 7(b)中红色目标为利用文献[25]的方法提取的地标,共 42 个,其中本文方法与文献[25]方法地标所占比分别为 1.82% 与 2.18%。两个方法提取的地标重合数量为 23 个,重合度为 65.71%。

图 7 本文及对比方法提取地标结果

Fig.7 Extracting Results of Different Methods

实验结果的重合度随着可视域范围增加而发生变化,如图 8 所示,地物目标可视范围从 Voronoi

1 阶变化到 10 阶,随着可视域范围变大,重合度也在逐步增大,并且最终稳定在 65% 左右。

图9统计了地标元素及其邻近地物构成的 k 阶邻域缝隙情况。 k 阶邻域缝隙较大的地标对应地在图10中可视性不强,如地标16、27。而对于 k 阶邻域缝隙较小的地标,均具备较强的可视性,如地标15、28。这表明在地标周围通常会密集存在较多地物,且它们之间高差较为明显。

两种方法的实验结果重合度为65.71%,表明地物目标的几何形态与邻近目标分布是认知形成地标的主要因素,说明本文方法是可行的。对

比发现,重合地物主要为云南陆军讲武堂、云南省博物馆、翠湖宾馆及东风大楼。表1列举了显著性较强的10个地物,这些地物在实际生活中都具有较强的视觉特征,可以作为地标。对于未重合的部分地标,主要原因为,从Voronoi图出发,仅考虑将地物高度、缝隙与可视性作为显著性因子;相较于对比方法,本文方法并没有对实验区域的地物进行分类处理,也忽略地物功能性因素和文化语义因素,造成地标提取结果存在差异。

表1 地标特征定量化描述

Tab.1 Quantitative Descriptions of Landmark Feature

编号	名称	地物面积/ m^2	Voronoi面积/ m^2	高度/m	缝隙	可视性
1	云南陆军讲武堂	1 391.02	2 527.09	26	2.91	0.71
2	昆明市体育馆	5 998.18	7 856.72	36	3.01	0.75
3	东风大楼	4 858.74	5 396.36	71	2.97	0.79
4	金马碧鸡坊	4 350.27	5 929.61	81	3.48	0.86
5	云南日报社	3 742.01	5 427.32	72	3.96	0.81
6	云南省博物馆	4 011.62	5 327.01	89	3.34	0.90
7	云大医院	3 921.04	4 267.38	91	3.12	0.89
8	东寺塔	3 627.05	4 516.57	40	3.04	0.76
9	翠湖宾馆	2 949.76	3 627.32	63	3.07	0.83
10	昆明邮电大楼	6 190.04	7 834.13	92	4.01	0.91

3 结语

为了有效地提取地标,多数方法往往通过使用纹理、语义与人文特征将地物嵌入高维空间,使地标与普通地物之间差异最大化。而本文方法依据平面Voronoi图的性质,结合可视域分割快速地选取地物几何特征,并作为显著性因子,其优点在于:(1)从平面Voronoi图出发来选取显著性影响因子,降低了特征选择的复杂程度;(2)结合多个可视域的可视性分析,更符合实际情况中多视角的空间认知。

图8 重合度与可视域范围变化示意图

Fig.8 The Diagram of the Relationship Between the Coincidence Rate and the Range of Visibility

图9 地标与其邻近目标缝隙变化

Fig.9 Crevice Changes Between Landmarks and the Adjacent Targets

图10 本文地标提取的可视性示意图

Fig.10 Diagram of the Visibility of the Landmarks Extraction in this Paper

复合 Voronoi 几何特征的地标提取方法可作为地标精炼的基础,并可验证地物目标与其邻近地物目标的几何分布特征对地标的重要性,地物功能性因素和语义因素将在后续工作中着重研究。

参 考 文 献

- [1] Richter K F, Winter S. Landmarks: GIS Science for Intelligent Services [M]. Cham, Switzerland: Springer, 2014
- [2] Gong Yongxi, Zhao Liang, Duan Zhongyuan, et al. Hierarchical Spatial Cognition and Spatial Knowledge Organization Based on Landmarks and Voronoi Diagram [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2016, 32(6): 1-6(龚咏喜, 赵亮, 段仲渊, 等. 基于地标与 Voronoi 图的层次化空间认知与空间知识组织[J]. 地理与地理信息科学, 2016, 32(6): 1-6)
- [3] Zhang Xing. Research on Landmark-Based Pedestrian Navigation Methods in Complex City Environment [D]. Wuhan: Wuhan University, 2012(张星. 地标引导的城市复杂环境行人导航方法研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2012)
- [4] Li Lin, Mao Kai, Tan Yongbin. Hierarchy Landmarks Multi-granularity Description Method for Route Guidance [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2014, 43(1): 105-112(李霖, 毛凯, 谭永滨. 基于分层地标的多粒度路径导引描述方法[J]. 测绘学报, 2014, 43(1): 105-112)
- [5] Zhang Xing, Li Qingquan, Fang Zhixiang, et al. Landmark and Branch-based Pedestrian Route Complexity and Selection Algorithm [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2013, 38(10): 1 239-1 242(张星, 李清泉, 方志祥, 等. 顾及地标与道路分支的行人导航路径选择算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2013, 38(10): 1 239-1 242)
- [6] Zhu Haihong, Wen Ya, Mao Kai, et al. Quantitative POI Salience Model for Indoor Landmark Extraction [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2018, 43(3): 336-341(朱海红, 温雅, 毛凯, 等. 室内地标提取的 POI 显著度定量评价模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2018, 43(3): 336-341)
- [7] Sorrows M E, Hirtle S C. The Nature of Landmarks for Real and Electronic Spaces [C]. International Conference on Spatial Information Theory, Stade, Germany, 1999
- [8] Li Jiatian, Lin Yan, Zhao Lingli. GIS Voronoi Adjacent Method [M]. Beijing: Science Press, 2016
- [9] Raubal M, Winter S. Enriching Wayfinding Instructions with Local Landmarks [C]. International Conference on Geographic Information Science, Boulder, Colorado, USA, 2002
- [10] Caduff D, Timpf S. On the Assessment of Landmark Salience for Human Navigation [J]. *Cognitive Processing*, 2008, 9(4): 249-267
- [11] Zhao Weifeng, Li Qingquan, Li Bijun. Extracting Hierarchical Landmarks from Urban POI Data [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2011, 15(5): 973-988(赵卫锋, 李清泉, 李必军. 利用城市 POI 数据提取分层地标[J]. 遥感学报, 2011, 15(5): 973-988)
- [12] Wang Ming, Hu Qingwu, Li Qingquan, et al. Extracting Hierarchical Landmark from Check-in Data [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2016, 39(2): 405-413(王明, 胡庆武, 李清泉, 等. 基于位置签到数据的城市分层地标提取[J]. 计算机学报, 2016, 39(2): 405-413)
- [13] Klippel A, Winter S. Structural Salience of Landmarks for Route Directions [C]. International Conference on Spatial Information Theory, Elliottville, New York, USA, 2005
- [14] Deng Xingui, Wu Xuefei. Research of Visual Landscape of Urban Landmark Based on Multi-spatial Interface Analysis [J]. *Architecture & Culture*, 2014, 10(3): 125-127(邓鑫桂, 吴雪飞. 基于多空间界面分析的城市地标视觉景观研究—以武汉市黄鹤楼为例[J]. 建筑与文化, 2014, 10(3): 125-127)
- [15] Gold C M. Review: Spatial Tessellations-Concepts and Application of Voronoi Diagrams [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 1994, 8(2): 237-238
- [16] Chen Jun. Voronoi-Based Dynamic Spatial Data Model [M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2002(陈军. Voronoi 动态空间数据模型[M]. 北京: 测绘出版社, 2002)
- [17] Chen Jun, Li Chengming, Li Zhilin, et al. A Voronoi-Based 9-Intersection Model for Spatial Relations [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2001, 15(3): 201-220
- [18] Chen Jun, Zhao Renliang, Li Zhilin. Voronoi-Based k -order Neighbors Relations for Spatial Analysis [J]. *ISPRS Journal of Photogrammetric and Remote Sensing*, 2004, 59(1/2): 60-72
- [19] Liu Jinyi, Liu Shuang. A Survey on Applications of Voronoi Diagrams [J]. *Journal of Engineering Graphics*, 2004, 25(2): 125-132
- [20] Wang Lei, Zhao Xuesheng, Zhao Longfei, et al.

- Multi-level QTM Based Algorithm for Generating Spherical Voronoi Diagram [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2015, 40(8): 1111-1115(王磊, 赵学胜, 赵龙飞, 等. 基于多层次QTM的球面Voronoi图生成算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2015, 40(8): 1111-1115)
- [21] Zhao Renliang. Voronoi Methods for Computing Spatial Relations in GIS [M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2006(赵仁亮. 基于Voronoi图的GIS空间关系计算[M]. 北京: 测绘出版社, 2006)
- [22] Kang Shun, Li Jiatian, Wu Hao. An Extraction Method for Point Pattern Convergence Under Voronoi Adjacency Relation [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2017, 46(5): 649-657(康顺, 李佳田, 武昊. Voronoi邻近关系支持下的点模式趋同提取方法[J]. 测绘学报, 2017, 46(5): 649-657)
- [23] Zhang Xiao Xiang. Spatial Analysis in the Era of Big Data [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2014, 39(6): 655-659(张晓祥. 大数据时代的空间分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2014, 39(6): 655-659)
- [24] Li Jiatian, Kang Shun, Li Xiaojuan, et al. Putting Model for Broad Geographic Annotation [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2015, 40(1): 20-25(李佳田, 康顺, 李晓娟, 等. 宽泛地理注记的投放模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2015, 40(1): 20-25)
- [25] Kim J, Vasardani M, Winter S. Landmark Extraction from Web-harvested Place Descriptions [J]. *Künstliche Intelligenz*, 2017, 31(2): 151-159

Landmark Extraction via Composite Features of Voronoi Diagram

LI Jiatian¹ WU Huajing¹ GAO Peng¹ HE Rixing² ZHANG Wenjing¹
A Xiaohui¹ DENG Gang¹

1 Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China

2 Information Center of the Ministry of Public Security of China, Beijing 100741, China

Abstract: Landmark extraction is a hotspot of spatial cognition and spatial knowledge organization research. Saliency measurement model is a most important method of landmark extraction, of which the principle is the weighted evaluation of the appearance, structure and semantics of objects. Considering the spatial distribution and geometric characteristics of objects, and it is difficult to extract landmarks with more consistent features, making it a complex process. From the viewpoint of composite features in Voronoi domain, a landmark extraction method is proposed to explore the geometric feature reflection of landmark from individual to its neighborhoods, based on the height of Voronoi element, Voronoi k -order neighborhood crevice and Voronoi k -order neighborhood visibility. Comparative experiments show that: (1) Compared with the landmark extracted by the existing methods with the results of traditional saliency measurement model, which verifies the effectiveness of this method; (2) As for the characteristics of ground property, the geometric features contained in Voronoi diagram can effectively represent the landmarks, reducing the complexity for feature selection of landmarks.

Key words: landmark extraction; Voronoi diagram; composite features; neighborhood crevice; neighborhood visibility

First author: LI Jiatian, PhD, professor, specializes in numerical optimization method and machine scene understanding algorithm. E-mail: ljtwdx@163.com

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China (41561082, 41161061).

引文格式: LI Jiatian, WU Huajing, GAO Peng, et al. Landmark Extraction via Composite Features of Voronoi Diagram [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2020, 45(9): 1448-1454. DOI:10.13203/j.whugis20180125(李佳田, 吴华静, 高鹏, 等. 一种复合Voronoi几何特征的地标提取新方法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2020, 45(9): 1448-1454. DOI:10.13203/j.whugis20180125)