

一种面向多尺度面状居民地匹配的Voronoi图自适应构建算法

吴建华, 戴鹏, 胡烈云

引用本文:

吴建华, 戴鹏, 胡烈云. 一种面向多尺度面状居民地匹配的Voronoi图自适应构建算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2022, 47(2): 304–312.

WU Jianhua, DAI Peng, HU Lieyun. An Adaptive Voronoi Diagrams Algorithm for Matching Multi-scale Areal Residential Areas[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(2): 304–312.

相似文章推荐 (请使用火狐或IE浏览器查看文章)

Similar articles recommended (Please use Firefox or IE to view the article)

矢量居民地多边形多级图划分聚类方法

A Multi-level Graph Partition Clustering Method of Vector Residential Area Polygon

武汉大学学报·信息科学版. 2021, 46(1): 19–29 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20190358>

一种改进的手机阴影匹配定位方法

An Improved Shadow Matching Method for Smartphone Positioning

武汉大学学报·信息科学版. 2021, 46(12): 1907–1915 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20210275>

“城区”的内涵及空间界定

Connotations and Spatial Delimitation of Urban Area

武汉大学学报·信息科学版. 2021, 46(9): 1370–1377 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20200507>

顾及各向异性加权力矩与绝对相位方向的异源影像匹配

Heterologous Images Matching Considering Anisotropic Weighted Moment and Absolute Phase Orientation

武汉大学学报·信息科学版. 2021, 46(11): 1727–1736 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20200702>

一种利用双侧凸包扩张模型的路径快速规划算法

A Rapid Path Planning Algorithm Based on the Bilateral Convex-Hull Expanding Model

武汉大学学报·信息科学版. 2021, 46(1): 58–64 <https://doi.org/10.13203/j.whugis20180469>



一种面向多尺度面状居民地匹配的 Voronoi 图 自适应构建算法

吴建华¹ 戴鹏¹ 胡烈云¹

1 江西师范大学地理与环境学院,江西 南昌,330022

摘要:针对现有基于发生元离散化思想的 Voronoi 算法在计算效率与边界位置精度之间难以平衡控制的问题,提出了一种基于邻居对分类插值策略的面向多尺度面状居民地匹配的 Voronoi 图自适应构建算法(adaptive Voronoi diagrams algorithm for matching multi-scale areal residential areas, AVARA)。首先,利用居民地多边形的质心构成的 Delaunay 三角网计算出居民地邻居对;其次,根据邻居对之间的最小距离及其最小面积外包矩形的边长最小值的大小关系将邻居对分类;然后,根据邻居对类别采用相应的方法在居民地边界上自适应地内插点;最后,基于内插点集及居民地的顶点集构建居民地的 Voronoi 图。利用 1:10 000 和 1:50 000 居民地数据进行了 Voronoi 图实验,结果表明,在 1:10 000 数据中,AVARA 在局部位置精度与时间性能方面均优于通视点法、3 m 及 6 m 等间隔内插点法;在 1:50 000 数据中,与 30 m 等间隔内插点法相比,AVARA 取得了较高的局部位置精度;与 15 m 等间隔内插点法相比,AVARA 的位置精度稍微偏低,但时间性能提升了 40%。可见,AVARA 有效缓解了 Voronoi 图计算效率与边界位置精度的平衡控制问题。

关键词:面状居民地;Delaunay 三角网;Voronoi 图;空间实体匹配

中图分类号:P208

文献标志码:A

Voronoi 图是对空间的一种无缝分割方法,可以用于描述空间邻近关系^[1-2]、最近邻操作^[3]、空间影响范围,也可用于空间内插分析、设施选址分析^[4]、居民点布局、物流配送、空间认知和空间数据综合等^[5-6],在空间实体匹配过程中具有易于建立空间实体的空间对应关系^[7-8]、有效减少匹配候选集搜索空间以及减少误配实体等优势。但前期研究发现,Voronoi 图的边界位置精度在一定程度上会影响匹配结果,为了提升利用 Voronoi 图进行多尺度面状居民地匹配的质量和效率,迫切需要设计出易于实现、性能好、精度高、实用的面实体的 Voronoi 图算法。

目前,有关构造 Voronoi 图算法的研究很多,就 Voronoi 图的生成特点而言,分为矢量法^[9-13]和栅格法^[14-16]。其中,矢量法主要分为两类:(1)直接法,即直接由点集生成 Voronoi 图,比如半平面法、增量构造法、分治法、平面扫描线法等^[10];(2)间接法,利用 Voronoi 图与 Delaunay 三角网(Delaunay triangulation, DT)的对偶性,先根

据点集生成 DT,然后构建 Voronoi 图^[9,11]。现有算法对于构建平面点集的 Voronoi 图十分有效^[12],但是难以直接用于构造面状居民地的 Voronoi 图。王新生等^[17]提出了基于 ArcGIS 软件构建任意发生元的 Voronoi 图的矢量逼近方法,利用有限点来逼近原始图形发生元,从而代替原始图形,构建离散点集的普通 Voronoi 图,消除多余的 Voronoi 边和多余 Voronoi 顶点,得到原始发生元的逼近 Voronoi 图。该算法思路较好,但自动化程度低。张辉等^[10]针对地理信息系统(geographic information system, GIS)中线状、面状等复杂形态地理要素,提出一种构建任意发生元 Voronoi 图的实用算法,主要思想也是发生元离散化以及 Voronoi 多边形合并,该算法需要事先去除发生元自身面状区域,过程相对复杂。然而,上述方法未讨论顶点的离散间隔距离设置方法及其对 Voronoi 图应用的影响。李佳田等^[13]也利用发生元离散化的思路,融合了最近特征点,且将部分生长元进行迭代离散计算,但这种算法

收稿日期:2021-03-22

项目资助:国家自然科学基金(41561084,41201409);江西省教育厅研究生创新基金(YC2019-S154)。

第一作者:吴建华,博士,副教授,主要从事地理空间数据集成、地理信息工程研究。wjhgis@126.com

通讯作者:戴鹏,硕士。daimpeng@126.com

将生长元结点最小距离作为离散间距,未考虑边界位置精度与离散点数量之间的平衡问题,在面对复杂面状实体时,消耗的时间和内存空间较多,可靠性差。文献[9,11]利用相邻居民地多边形中相互通视的顶点构建DT,需要大量的空间关系计算,且未提供详细的通视点计算方法和整体三角网构建策略。

鉴于现有居民地 Voronoi 图算法的不足,本文在已有研究的基础上,提出了一种面向多尺度面状居民地匹配的 Voronoi 图自适应构建算法(adaptive Voronoi diagrams algorithm for matching multi-scale areal residential areas, AVARA)。该算法综合考虑了 Voronoi 图边界位置精度与算法的时间性能,有利于提升多尺度面状居民地的匹配质量。

1 AVARA

AVARA 基于发生元离散化思想,并借鉴地理学第一定律的基本思想,即越相近的事物之间越相关,依据较邻近的邻居对要素插入的点相对密一些、相离较远的邻居对要素插入的点相对稀疏或不插入点的原则进行算法实现。

1.1 算法流程

AVARA 构建面状居民地的 Voronoi 图的流程见图 1,主要包括以下 5 个步骤:(1)初始数据输入,主要是输入居民地要素数据集 A、居民地多边形质心点集 C 以及自适应内插点集 I;(2)邻居对计算,邻居对指某居民地要素与其邻近的某居民地要素构成的集合,利用居民地质心点集 C 构建 DT,再利用 DT 获取当前居民地要素的所有邻居要素,构建邻居对;(3)邻居对分类,利用居民地要素与其邻居对要素之间的最小距离 d 与两个要素的最小面积外包矩形(minimum area bounding rectangle, MABR)的边长最小值的大小关系,将邻居对分为紧密邻近邻居对(close neighbor pair, CP)、相对紧密邻近邻居对(relatively close neighbor pair, RP)、非紧密邻近邻居对(not close neighbor pair, NP)3类;(4)自适应内插点,针对不同类型的邻居对采取不同的边界点生成策略;(5)Voronoi 图构建,利用自适应生成的边界点和居民地原始顶点构建点要素的 Voronoi 图,将具有相同居民地要素编号的 Voronoi 多边形合并,即可生成居民地的 Voronoi 图。

1.2 空间邻居对的计算

DT 已经被证明是空间聚类中捕获拓扑邻接

的有力工具^[18-19],因此,本文使用居民地多边形质心点集 C 的 DT 来计算居民地的邻居要素,从而构建邻居对。邻居要素的计算过程如图 2 所示。首先提取居民地要素的质心点,即图 2(a)中的绿色点,得到质心点集 $C = \{p_i | i=1, 2 \dots n\}$,表示某居民地多边形的质心点;然后利用 C 来构建 DT;最后利用质心点连接相同的三角形边的关系,得到当前居民地要素的邻居对集合 $P_i = \{(A_i, A_j) | i \neq j, i, j=1, 2 \dots n\}$,其中, A_i 表示要素编号为 i 的居民地要素, A_j 表示 A_i 的邻居居民地要素。如图 2(b)所示,要素编号为 80 的居民地要素的邻居对集合为 $P_{80} = \{(80, 76), (80, 79), (80, 84), (80, 82)\}$ 。

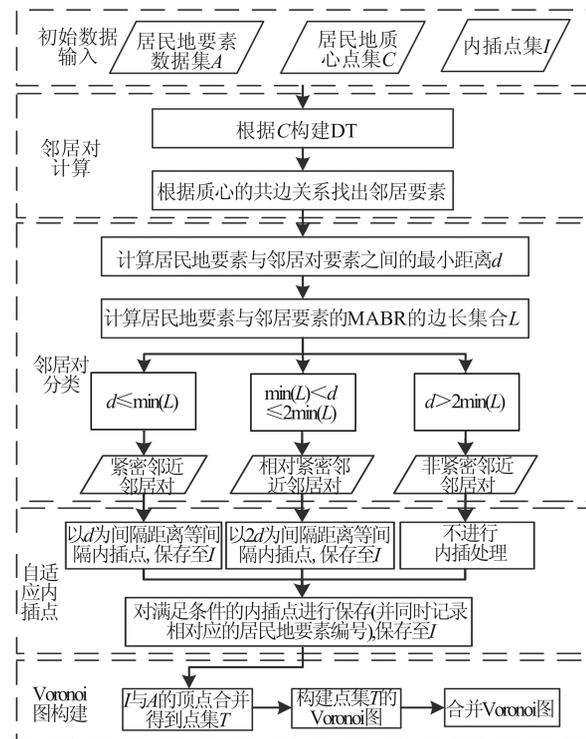


图 1 AVARA 流程图

Fig.1 Flowchart of AVARA

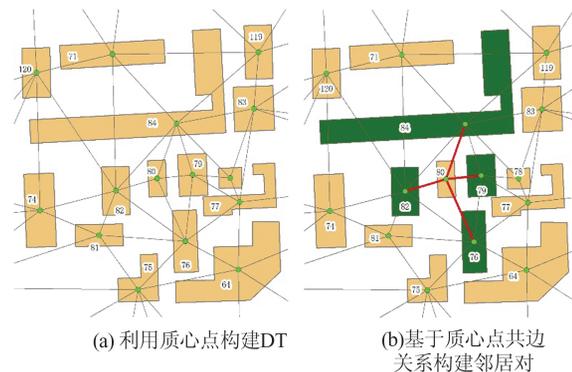


图 2 面状居民地的邻居对计算

Fig.2 Calculation of Neighbor Pairs of Areal Residential Areas

1.3 空间邻居对的分类

在计算出每个居民地要素的邻居对之后,需要根据邻居要素间的距离对邻居对进行分类,以便根据不同策略进行边界点的内插。空间邻近性是人们空间认知的结果,在空间领域通常被认为是一种位置或距离关系。地图综合领域的学者认为,当两个要素的基高比(即面要素的面积与面要素最长骨架线的长度之比,是面要素的平均宽度的描述)之和大于或等于狭长桥接面的间距时,两个面要素适合毗邻化;反之,当桥接面的间距大于两个要素的基高比之和时,不适合毗邻化,即两个要素不适合作为毗邻化处理的邻居。借鉴该思想,AVARA根据当前居民地要素与其邻居要素之间的最小距离 d (两个居民地要素边界点之间的最短欧氏距离,当两个要素相交时 $d=0$)与这两个要素MABR的边长最小值的

大小关系进行分类,考虑到居民地边界离散化时应该尽可能少地生成离散点,AVARA进行了更严格的邻近条件约束,具体判定方法如下:

1)CP。要求邻居对要素之间的最小距离不大于MABR的边长最小值,即 $d \leq \min(L)$,其中, L 为两个要素MABR的边长集合, $L = \{L_1, L_2, \dots, L_8\}$; $\min()$ 为最小值函数。CP的示例见图3(a)。

2)RP。要求邻居对要素之间的最小距离不大于2倍的MABR的边长最小值(理想状态下,两个邻居对要素的基高比相等,此时2倍的MABR的边长最小值等于两个邻居对要素的基高比之和),且大于MABR的边长最小值,即 $\min(L) < d \leq 2\min(L)$ 。RP的示例见图3(b)。

3)NP。要求邻居对要素之间的最小距离大于2倍的MABR的边长最小值,即 $d > 2\min(L)$ 。NP的示例见图3(c)。

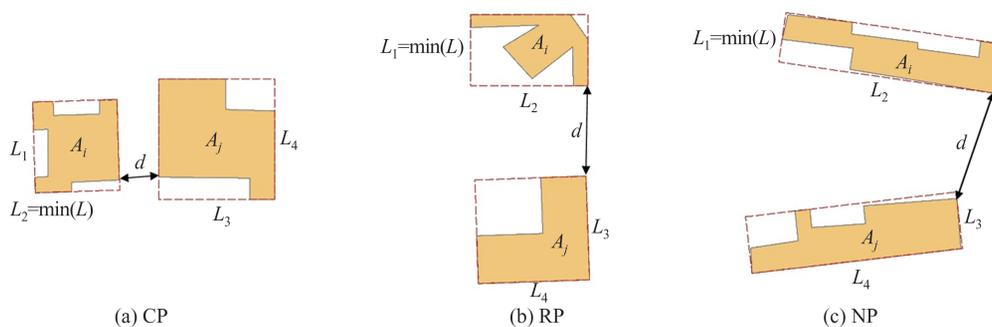


图3 邻居对分类

Fig.3 Classification of Neighbor Pairs

1.4 基于邻居对类别的边界点自适应生成

基于Voronoi图的多尺度面状居民地匹配中,需要利用Voronoi多边形去查询候选匹配要素,其边界位置精度会对查询结果产生一定的影响,通常对匹配数据集中位置邻近的居民地要素的匹配影响较大(这种情况就要求Voronoi边界位置精度尽可能高),而对相离较远的居民地要素的匹配影响较小或不影响。因此,AVARA对不同类型的邻居对要素采取不同的距离间隔在居民地边界上内插点,遵循较邻近的邻居对要素插入的点相对密一些,相离较远的邻居对要素插入的点相对稀疏或不插入点的原则,从而平衡边界位置精度与离散点数量之间的关系。

假定面状居民地要素数据集 $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$, $A_i (i=1, 2, \dots, n)$ 表示 A 中的某一居民地要素, $Q_i = \{q_{i0}, q_{i1}, \dots, q_{im}\}$ 为 A_i 的原始顶点集合。若在 A_i 的边界线上等距离间隔内插出 k 个顶点,理论上 k 越大,生成的Voronoi图边界越逼近理论值,但是

消耗的时间和内存空间也越多。在数据集 A 间隔距离已知的情况下, k 的计算式为:

$$k = \text{int} \left[\frac{L(A_i)}{\lambda} \right] \quad (1)$$

式中, $\text{int}[\]$ 为取整函数; $L(A_i)$ 表示 A_i 的周长; λ 表示间隔距离。

AVARA对不同类型邻居对的 λ 取值策略如下:(1)CP。取邻居对要素之间的最小距离作为在居民地要素边界线段上生成边界点的间隔距离,即 $\lambda = d$ 。(2)RP。取2倍的邻居对要素之间的最小距离作为在居民地要素边界线段上生成边界点的间隔距离,即 $\lambda = 2d$ 。(3)NP。除居民地要素边界顶点外,不需要在居民地边界线上生成点。

生成居民地原始顶点以及自适应内插出每个顶点时,记录该点所在居民地多边形 A_i 的要素编号,设 A_i 上内插点的集合为 I_i ,则 A 中所有内插点和多边形顶点的集合 T 为 Q_i 和 I_i 的合集。

1.5 Voronoi 图构建方法

AVARA 首先利用三角网生长算法对点集 T 构建 Voronoi 图,然后将具有相同居民地要素编号的 Voronoi 多边形合并,即可生成面状居民地的 Voronoi 图,Voronoi 图构建过程如图 4 所示。

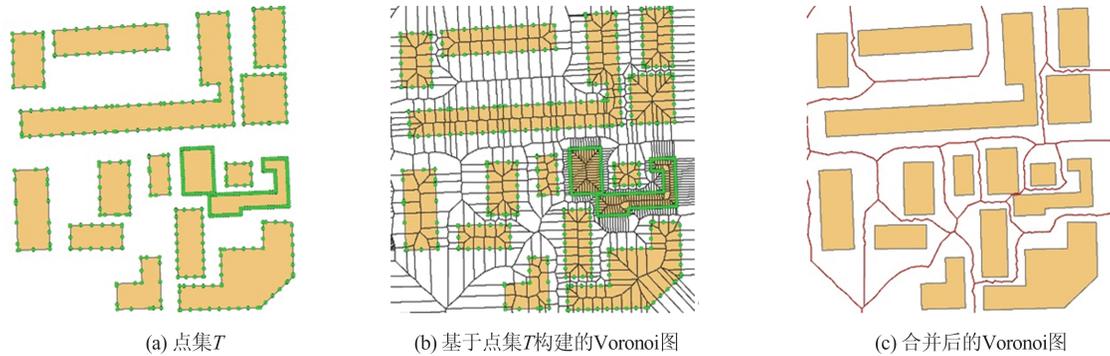


图 4 面状居民地的 Voronoi 图构建过程

Fig.4 Process of Creating Voronoi Diagrams of Areal Residential Areas

1.6 Voronoi 图位置精度评价方法

根据 Voronoi 区域内的任意一点距当前发生元的距离比距平面中的其他发生元都近的原则,比较不同算法得出的 Voronoi 图的几何精度,即理论上的 Voronoi 多边形应满足:

$$V_i = \left\{ p \mid d_s(p, A_i) \leq d_s(p, A_j), j \neq i, i, j = 1, 2, \dots, n \right\} \quad (2)$$

式中, V_i 表示当前居民地要素 A_i 的 Voronoi 多边形; p 为欧几里得平面上的任意一点; d_s 为任意点与居民地要素之间的最短欧氏距离。

本文设计了如下方案检验紧密邻近邻居对之间的 Voronoi 多边形的边界精度:选取多对 CP,针对一对 CP,首先计算出 CP 的凸包;然后构建以 CP 的最小外包矩形为边界的等间隔距离的点阵(间隔距离依据数据集的制图精度确定),通常点阵越密集,越能体现出精度差距;最后通过空间关系查询获取 CP 的凸包范围内的点用于 Voronoi 多边形的边界精度检验。具体方法为:(1)遍历落在凸包范围中的点,计算该点到其对应 Voronoi 多边形所对应的居民地要素的最短距离 d_{si} 以及该点到其他居民地多边形的最短距离 d_{sj} ,如果 $d_{si} \leq d_{sj}$,则该点为符合要求的正确点,否则为错误点;(2)以正确点数或错误点数的统计值来评价 Voronoi 多边形的边界精度,正确点数越多,说明算法的边界精度越高。

2 实验与分析

为检验算法的有效性和实用性,本文进行了

图 4(a)中的绿色点为居民地顶点和居民地边界上的内插点,其并集即为点集 T ,图 4(b)中黑色多边形为基于点集 T 构建的 Voronoi 图,图 4(c)中红色多边形为基于居民地要素编号相同的条件将图 4(b)中黑色多边形合并成的 Voronoi 图。

相关实验与算法对比分析,AVARA 通过 Microsoft Visual Studio2010 (C#) + ArcGIS Engine 10.2 实现,计算机基本配置为 Intel Core(TM) i5-6200U CPU,内存为 8 GB。

2.1 构建 Voronoi 图的实验数据

为了检验 AVARA 构建面状居民地 Voronoi 图的效果,本文选取不同地图比例尺的矢量面状居民地数据集进行实验,包括北京市昌平区某区域的面状居民地数据集(地图比例尺为 1:10 000,地理范围约 0.22 km²,包含 129 个居民地要素),以及金华市兰溪区某区域的面状居民地数据集(地图比例尺为 1:50 000,地理范围约 1.8 km²,包含 108 个居民地要素),将它们分别命名为 Res1W、Res5W,实验数据如图 5 所示。

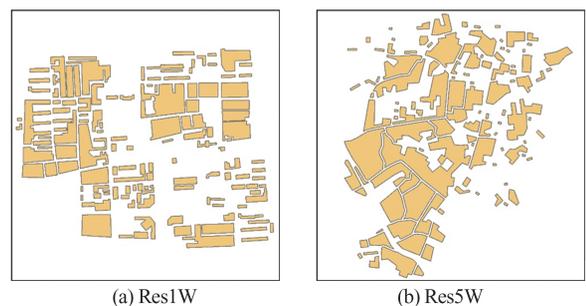


图 5 构建 Voronoi 图的实验数据

Fig.5 Experimental Data for Creating Voronoi Diagrams

2.2 实验与结果

采用 AVARA、通视点算法^[9,11]和等间隔算法^[10,13],利用 Res1W 和 Res5W 实验数据进行 Voronoi 图构建实验并进行对比分析。等间隔法的间隔距离 λ 计算式为:

$$\lambda = \text{int} \left[\mu \times \frac{D(A)}{1000} \times \frac{1}{10} \right] \quad (3)$$

式中, $D(A)$ 为面状居民地要素数据集 A 的比例尺分母值, $D(A)/1000$ 表示图纸上 1 mm 对应的实地长度; $1/10$ 表示图纸上 1 mm 距离人眼能识别的比例; $\mu (1 \leq \mu \leq 10)$ 表示距离容差系数, 考虑到数据偶然误差一般不超过 3 倍中误差, 这里取 $\mu=3$, 另外考虑到数据制图综合等引起的质量问题, 本文将容许的误差再扩大一倍, 即取 $\mu=6$, 实验时取 $\mu=3$ 、 $\mu=6$ 两种情况进行比较, 即 Res1W 实验数据的等间隔距离为 3 m 和 6 m, Res5W 实验数据的等间隔距离为 15 m 和 30 m。

不同算法对 Res1W 的 Voronoi 图计算结果如图 6 所示, 图 7 是图 6 的局部放大效果。由图 7 可以看出, AVARA 与通视点法生成的 Voronoi 图存在较大差异, 而 3 m 等间隔法与 6 m 等间隔法生成的 Voronoi 图边界线存在锯齿且与居民地相交。

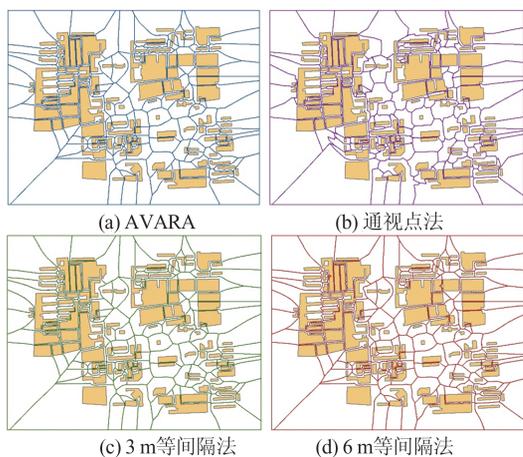


图 6 不同算法对 Res1W 的 Voronoi 图计算结果
Fig.6 Voronoi Diagrams of Res1W Created by Different Algorithms

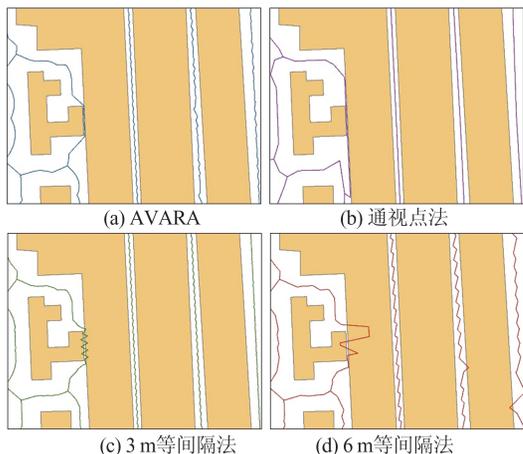


图 7 不同算法对 Res1W 的 Voronoi 图局部结果
Fig.7 Local Results of Voronoi Diagrams of Res1W Created by Different Algorithms

不同算法对 Res5W 的 Voronoi 图计算结果如图 8 所示, 图 9 是图 8 的局部放大效果。由图 9 可以看出, 4 种算法生成的 Voronoi 图总体相似, 但也存在局部的差异, 如红色箭头所指的要素的 Voronoi 图边界线, 通视点法与其他 3 种方法生成的结果差异明显, 30 m 等间隔法生成的 Voronoi 图边界线锯齿比较明显。

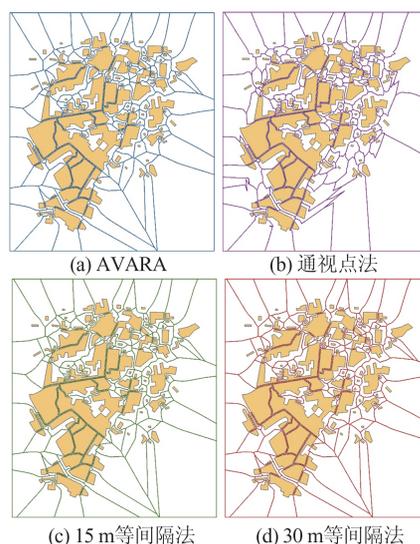


图 8 不同算法对 Res5W 的 Voronoi 图计算结果
Fig.8 Voronoi Diagrams of Res5W Created by Different Algorithms

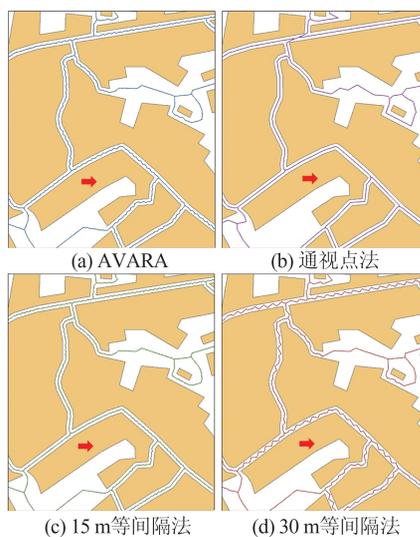


图 9 不同算法对 Res5W 的 Voronoi 图局部结果
Fig.9 Local Results of Voronoi Diagrams of Res5W Created by Different Algorithms

2.3 结果比较分析

2.3.1 位置精度比较

本文从 Res1W 和 Res5W 数据中各挑选出比较有代表性的 3 对邻居对, 检验 Voronoi 多边形的边界精度。Res1W 中不同算法生成的 3 个局部区域的 Voronoi 图见表 1。以局部区

域 1 为例,其生成用于位置精度检测的间隔距离为 1 m 的点阵的过程见图 10,4 种方法生成的 Voronoi 图边界位置精度评价结果见表 2。

表 1 Res1W 中 3 个局部区域的 Voronoi 图

Tab.1 Voronoi Diagrams of Three Local Regions in Res1W

算法	局部区域 1	局部区域 2	局部区域 3
AVARA			
通视点法			
3 m 等间隔法			
6 m 等间隔法			

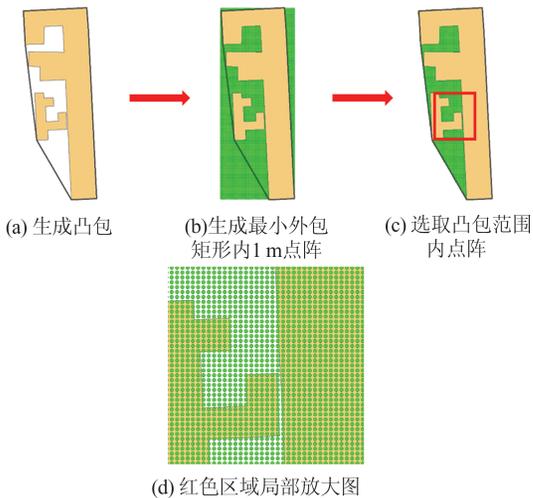


图 10 Voronoi 多边形位置精度检测点阵

Fig.10 Points for Detecting Location Precision of Voronoi Polygons

表 2 Res1W 中 3 个局部区域的 Voronoi 图质量比较

Tab.2 Quality Comparison of Voronoi Diagrams of Three Local Regions in Res1W

算法	局部区域 1		局部区域 2		局部区域 3		合计	
	正确数	错误数	正确数	错误数	正确数	错误数	正确数	错误数
AVARA	5 329	0	2 749	9	9 270	4	17 348	13
通视点法	5 164	165	2 743	15	9 245	29	17 152	209
3 m 等间隔法	5 318	11	2 757	1	9 254	20	17 329	32
6 m 等间隔法	5 253	76	2 729	29	9 221	53	17 203	158

Res5W 中不同算法生成的 3 个局部区域的 Voronoi 图见表 3。精度检验方法与 Res1W 一致,检验点阵的间隔距离为 5 m。4 种不同方法生成的 Voronoi 图边界位置精度评价结果见表 4。

表 3 Res5W 中 3 个局部区域的 Voronoi 图

Tab.3 Voronoi Diagrams of Three Local Regions in Res5W

算法	局部区域 1	局部区域 2	局部区域 3
AVARA			
通视点法			
15 m 等间隔法			
30 m 等间隔法			

表 4 Res5W 中 3 个局部区域的 Voronoi 图质量比较

Tab.4 Quality Comparison of Voronoi Diagrams of Three Local Regions in Res5W

算法	局部区域 1		局部区域 2		局部区域 3		合计	
	正确数	错误数	正确数	错误数	正确数	错误数	正确数	错误数
AVARA	4 440	13	2 459	9	4 201	5	11 100	27
通视点法	4 448	5	2 447	21	4 203	3	11 098	29
15 m 等间隔法	4 445	8	2 466	2	4 205	1	11 116	11
30 m 等间隔法	4 419	34	2 454	14	4 193	13	11 066	61

由表 2 可以看出,AVARA 在 Res1W 中构建的 Voronoi 图的质量最高。由表 4 可以看出,AVARA 在 Res5W 中构建的 Voronoi 图的质量较好,仅次于 15 m 等间隔法。

2.3.2 时间性能比较

不同方法对 Res1W、Res5W 数据生成 Voronoi 图的耗时结果见表 5。从表 5 可以看出,通视点算法耗时远多于其他 3 种算法,主要原因是通视点计算及局部三角网构建时的空间关系判断较为耗时,算法过程也相对复杂,涉及到通视点计算、构建三角网、骨架线提取、线转面等步骤。AVARA 能够自适应地构建满足多尺度面状居民地匹配要求的 Voronoi 图,其在局部位置精度与时间性能方面均优于通视点法、Res1W 数据的 3 m 及 6 m 等间隔内插点法;在 Res5W 数据

表5 Res1W与Res5W中不同算法构建Voronoi图的耗时比较
Tab.5 Computation Time Comparison of Voronoi Diagrams of Res1W and Res5W

数据	算法	(1)		(2)		(3)		(4)		耗时 合计/s
		步骤	耗时/s	步骤	耗时/s	步骤	耗时/s	步骤	耗时/s	
Res1W	AVARA		23(7 596 个点)		23		4		—	50
	3 m等间隔法	创建顶点和 边界内插点	25(13 819 个点)	创建 Voronoi 图	42	合并 Voronoi 图	6	—	—	73
	6 m等间隔法		15(8 343 个点)		33		5		—	53
	通视点法	创建顶点	5	创建三角网	467	计算 Voronoi 边界线	119	Voronoi边 界线转面	1	592
Res5W	AVARA		12(3 960 个点)		10		3		—	25
	15 m等间隔法	创建顶点和 边界内插点	14(5 685 个点)	创建 Voronoi 图	16	合并 Voronoi 图	5	—	—	35
	30 m等间隔法		8(3 780 个点)		9		3		—	20
	通视点法	创建顶点	3	创建三角网	378	计算 Voronoi 边界线	119	Voronoi边 界线转面	1	501

中,AVARA与30 m等间隔法相比,所耗时间多6 s,但AVARA的局部位置精度显著提高,而后者边界出现了很多较大的锯齿现象(见表3),与15 m等间隔内插点法相比,AVARA的位置精度稍微偏低,几乎不会影响匹配结果,但所耗时间少10 s,即时间性能提升了40%。

3 结 语

本文提出了一种面向多尺度面状居民地匹配的Voronoi图自适应构建算法——AVARA,提出了基于空间邻居要素大小、距离及邻居对分类策略的居民地边界内插点方法,避免了内插点的冗余,设计了Voronoi多边形位置精度评价方法。实验结果表明,AVARA整体优势明显,在满足多尺度面状居民地匹配要求的Voronoi多边形位置精度的同时,保持了较好的时间性能,缓解了计算效率与边界位置精度及离散点数量的平衡问题,而且AVARA可以自适应地计算出内插点的间隔距离,不需要人工依据地图比例尺等信息设定距离参数,因此相比其他方法更具有普适性与实用性。

然而,AVARA算法仍需进一步改进,如目前内插的点数可能依然存在冗余,因为实体匹配时主要需要提高邻近边界上的内插点数,而其他位置不一定需要插入很多点。另外,AVARA目前还不能满足存在拓扑邻接的居民地的数据集的Voronoi图生成。

参 考 文 献

- [1] Zhao Renliang. Study on Spatial Relationship Computation Based on Voronoi Diagrams [D]. Changsha: Central South University, 2002 (赵仁亮. 基于Voronoi图的空间关系计算研究[D]. 长沙: 中南大学, 2002)
- [2] Yan Haowen, Guo Renzhong. A Formal Description Model of Directional Relationships Based on Voronoi Diagram [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2003, 28(4): 468-471 (闫浩文, 郭仁忠. 基于Voronoi图的空间方向关系形式化描述模型[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 28(4): 468-471)
- [3] Okabe A, Boots B, Sugihara K. Nearest Neighbourhood Operations with Generalized Voronoi Diagrams: A Review [J]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1994, 8(1): 43-71
- [4] Zhang Long, Zhou Haiyan. Research on Public Establishment Location Selection Based on the Voronoi Diagram in GIS [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2004, 40(9): 223-224 (张龙, 周海燕. GIS中基于Voronoi图的公共设施选址研究[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(9): 223-224)
- [5] Yan H W, Weibel R. An Algorithm for Point Cluster Generalization Based on the Voronoi Diagram [J]. *Computers & Geosciences*, 2008, 34(8): 939-954
- [6] Zong Dawei. Voronoi Diagrams and Its Applications [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2006 (宗大伟. Voronoi图及其应用研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2006)
- [7] Huang Wei, Jiang Jie. Simple Geometry Matching of Multi-Scales Spatial Data [J]. *Remote Sensing Information*, 2011, 26(1): 27-31 (黄蔚, 蒋捷. 多尺度矢量简单几何实体数据几何匹配方法研究[J]. 遥感信息, 2011, 26(1): 27-31)
- [8] Wu J H, Wan Y Y, Chiang Y Y, et al. A Matching Algorithm Based on Voronoi Diagram for Multi-Scale Polygonal Residential Areas [J]. *IEEE Ac-*

- cess, 2018, 6: 4904-4915
- [9] Yan Haowen, Wang Jiayao. Description and Automatic Generalization of Group Entities in Map [M]. Beijing: Science Press, 2009 (闫浩文, 王家耀. 地图群(组)目标描述与自动综合[M]. 北京: 科学出版社, 2009)
- [10] Zhang Hui, Hu Wei, Pu Yingxia, et al. A Practical Algorithm for Constructing Voronoi Diagrams of General Figures [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2011, 27(4): 41-44 (张辉, 胡玮, 蒲英霞, 等. 一种构建任意发生元 Voronoi 图的实用算法 [J]. 地理与地理信息科学, 2011, 27(4): 41-44)
- [11] Ai T H, Wang H, Liu Y L. Multi-Scale Representation of Building Feature in Urban GIS [J]. *Geo-Spatial Information Science*, 2002, 5(2): 37-44
- [12] Sun L P, Luo Y L, Yu Y L, et al. Voronoi Diagram Generation Algorithm Based on Delaunay Triangulation [J]. *Journal of Software*, 2014, 9(3): 777-784
- [13] Li Jiatian, Yang Qili, Luo Fuli, et al. A Decomposition and Combination Algorithm for Voronoi Diagrams of Polylines and Polygons [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2015, 40(11): 1545-1550 (李佳田, 杨琪莉, 罗富丽, 等. 线/面 Voronoi 图的分解合并生成算法 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2015, 40(11): 1545-1550)
- [14] Li Chengming, Chen Jun. Raster Based Method for Voronoi Diagram [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 1998, 23(3): 208-210 (李成名, 陈军. Voronoi 图生成的栅格算法 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 1998, 23(3): 208-210)
- [15] Dong P L. Generating and Updating Multiplicatively Weighted Voronoi Diagrams for Point, Line and Polygon Features in GIS [J]. *Computers & Geosciences*, 2008, 34(4): 411-421
- [16] Chen Jun. Voronoi Dynamic Spatial Data Model [M]. Beijing: Sino Maps Press, 2002 (陈军. Voronoi 动态空间数据模型 [M]. 北京: 测绘出版社, 2002)
- [17] Wang Xinsheng, Liu Jiyan, Zhuang Dafang, et al. GIS-Based Approximation Algorithm for Constructing Voronoi Diagrams with General Generators [J]. *Progress in Geography*, 2004, 23(4): 97-102 (王新生, 刘纪远, 庄大方, 等. 基于 GIS 的任意发生元 Voronoi 图逼近方法 [J]. 地理科学进展, 2004, 23(4): 97-102)
- [18] Estivill-Castro V, Lee I. Argument Free Clustering for Large Spatial Point-Data Sets via Boundary Extraction from Delaunay Diagram [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2002, 26(4): 315-334
- [19] Saalfeld A. Conflation Automated Map Compilation [J]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1988, 2(3): 217-228

An Adaptive Voronoi Diagrams Algorithm for Matching Multi-scale Areal Residential Areas

WU Jianhua¹ DAI Peng¹ HU Lieyun¹

¹ School of Geography and Environment, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022, China

Abstract: **Objectives:** There is a difficult problem of controlling the balance between computation efficiency and boundary position accuracy in existing Voronoi algorithms. **Methods:** Based on occurrence element discretization, we proposed an adaptive Voronoi diagram algorithm for matching multi-scale areal residential areas (AVARA) utilizing interpolation strategies according to the classification of neighbor pairs. Firstly, it uses the Delaunay triangle network composed of the centroids of residential areas to calculate the neighbor pairs. Secondly, it classifies the neighbor pairs according to the size relationship between the minimum distance of the neighbor pairs and the minimum side length of their minimum area bounding rectangles. Thirdly, it adaptively interpolates points on the boundary of residential area according to the type of neighbor pair. Finally, it constructs the Voronoi diagram for residential areas based on the interpolated point set and the vertex set. AVARA, the Voronoi diagram algorithm based on intervisible points and the Voronoi diagram algorithm based on equal-interval dense point method (VBEDP) are applied

to create Voronoi diagrams for two residential area datasets with the scale of 1 : 10 000 and 1 : 50 000. **Results:** The experiment results show that compared with VBEDP of 3 m interval and 6 m interval, AVARA outperforms the local position accuracy and time performance in the datasets with the scale of 1 : 10 000. And in the datasets with the scale of 1 : 50 000, AVARA achieves higher local position accuracy than VBEDP of 30 m interval, and has a time performance improvement of 40% than VBEDP of 15 m interval. **Conclusions:** AVARA can effectively alleviate the problem of controlling the balance between computation efficiency and boundary position accuracy of Voronoi diagram.

Key words: areal residential area; Delaunay triangulation; Voronoi diagram; entity matching

First author: WU Jianhua, PhD, associate professor, specializes in spatial data integration and geographic information engineering. E-mail: wjhgis@126.com

Corresponding author: DAI Peng, master. E-mail: daimpeng@126.com

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China(41561084, 41201409); the Postgraduate Innovation Fund of Education Department of Jiangxi Province(YC2019-S154).

引文格式: WU Jianhua, DAI Peng, HU Lieyun. An Adaptive Voronoi Diagrams Algorithm for Matching Multi-scale Areal Residential Areas [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2022, 47(2):304-312. DOI:10.13203/j.whugis20200324 (吴建华, 戴鹏, 胡烈云. 一种面向多尺度面状居民地匹配的 Voronoi 图自适应构建算法[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2022, 47(2):304-312. DOI:10.13203/j.whugis20200324)