

地图点群综合的加权 Voronoi 算法

闫浩文¹ 王邦松¹

(1 兰州交通大学测绘与地理信息学院,兰州市安宁西路 88 号,730070)

摘要:提出了一个基于加权 Voronoi 图的地图点群综合算法。为点群中包含的统计、专题、拓扑和度量信息分别选定量化描述因子,并把这些因子运用到点群综合过程中,来保证对应类型信息的正确传输;点群综合的过程借助于反复构造点群的加权 Voronoi 图来实现。

关键词:算法;加权 Voronoi 图;点群;信息传输

中图法分类号:P208;P283.1

地图上的许多目标呈点群状分布,如中(小)比例尺地形图上的居民地、同等级的圈形居民地符号、岛屿群和湖泊群等。因此,设计点群目标的自动综合算法在多尺度矢量地图数据库建设中非常必要。表 1 从地图信息传输的角度,分析了现有 7 个算法^[1-7]对点群包含的统计、专题、度量和拓扑信息^[8-11]的顾及与否。显然,前 6 个算法均只考虑了 4 类信息中的一部分;第 7、8 个算法隐含考虑了度量和拓扑信息,且实验结果的视觉效果良好,但是未给出综合结果对信息传输的量化

评价;第 9 个算法顾及了 4 类信息,但有缺陷:①用 OVD (ordinary voronoi diagram) 而不是 MWVD (multiplicatively weighted voronoi diagram) 来表达各点的影响区域,导致计算各点选取概率的方法复杂化;②用 OVD 来推导各点的邻居,使点的选取出现了偏差。应用 MWVD 则可以避免以上两个缺陷^[12]。

基于上述原因,本文将以前 MWVD 为工具,设计一种新的点群要素综合算法。

表 1 点群综合算法传输各类信息的比较

Tab. 1 Comparison of Point Feature Generalization Algorithms in Transmitting Types of Information

算法	统计信息	专题信息	度量信息	拓扑信息
1. 居民地空间比率算法 ^[1]	顾及	顾及	顾及了距离和密度	未顾及
2. 分布系数算法 ^[1]	顾及	顾及	只顾及了距离	未顾及
3. 重力模型算法 ^[1]	顾及	顾及	顾及距离,隐含考虑了密度	未顾及
4. 圆增长算法 ^[2]	顾及	顾及	只顾及了距离	用固定距离邻居表示
5. 基于四叉树的算法 ^[1]	顾及	未顾及	只顾及了距离	用四叉树表示
6. 点地图化简算法 ^[3]	顾及	未顾及	只顾及了距离	未顾及
7. 顾及空间特征的算法 ^[4]	顾及	未顾及	顾及距离,隐含考虑了密度	用 Voronoi 邻居表示
8. Kohonen 网络算法 ^[5-6]	顾及	顾及	隐含考虑密度	隐含考虑,未直接计算
9. 基于 Voronoi 的算法 ^[7]	顾及	顾及	顾及了密度对比和点群分布范围	用 Voronoi 邻居表示

1 算法思路与流程

1.1 算法思路

要在算法中顾及信息传输,就需要用合适的

因子来量化描述各类信息,并把这些因子融入点群的综合算法中。因此,本算法为 4 类信息的量化表达选择了相应描述因子^[7](表 2),并在基于 MWVD 的新算法中采用了如下 4 个策略来保证信息的正确传输。

收稿日期:2013-03-15。

项目来源:国家自然科学基金资助项目(40871208)。

表 2 MWVD 算法中描述点群包含的各类信息的对应因子

Tab. 1 Factors in the New Algorithm for Describing Types of Information Contained in Point Clusters

信息类型	选用的因子
统计信息	点数
专题信息	点的权值
拓扑信息	Voronoi 邻居
度量信息	点群局部相对密度、点群分布范围

1) 运用基本选取法则^[13]来计算地图上的点数(统计信息):

$$N_f = N_o \sqrt{\frac{S_o}{S_f}} \quad (1)$$

式中, N_f 是综合后地图上的点数; N_o 是原始地图上的点数; S_o 是原始地图比例尺分母; S_f 是综合后地图比例尺分母。

2) 把点的权值(专题信息)作为构建 MWVD 的基本参数,并遵循“Voronoi 多边形面积越大,其所对应点越容易被保留”的原则进行点的取舍,确保重要的点尽可能地被保留下来^[7,12]。

点的权值由点的量化(或可量化)的专题属性值计算而得。定名和顺序量表^[14]的属性值一般不作为计算权值的依据。间隔量表的属性值可以以专家的经验来预先给定权值;比率量表的属性值可以用原始数据或设计函数来计算权值(因情况复杂,不宜给出统一方法)。

3) 在点的删除过程中,遵循“尽量不删除邻居点”的原则进行点群综合,使点与点之间的拓扑关系尽可能小地被改变^[12,15]。

4) 用某点 i 的局部相对密度(r_i)和点群分布范围来控制点群综合中的度量信息传播^[15-16]。

$$r_i = R_i / \sum_{k=1}^n R_k \quad (2)$$

式中, R_i 是点 i 的绝对密度, $R_i = 1/A_i$, A_i 是第 i 点的 Voronoi 多边形的面积。

1.2 算法流程

基于以上策略,对点群进行综合的新算法流程如图 1。以下结合实例对该算法进行阐述。

2 基于 MWVD 的算法

以图 2(a)为例来论述新算法。该图比例尺为 1:1 万,其上有代表医院的 37 个点,其中甲、乙级医院各有 18 个、19 个。其目标图比例尺为 1:2 万。医院级别(甲级、乙级)属于间隔量表,故咨询专家,其对应权值分别为 2 和 1。

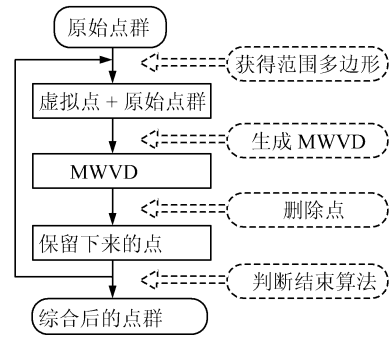


图 1 基于加权 Voronoi 图的点群综合算法流程

Fig. 1 Flowchart of the Proposed Algorithm

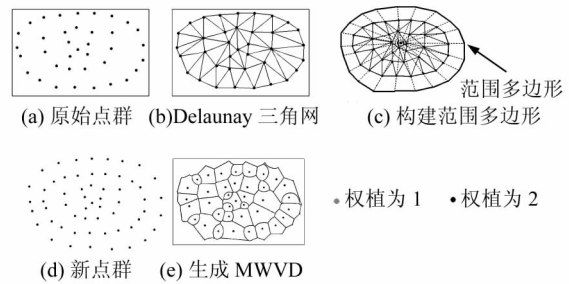


图 2 生成收敛的加权 Voronoi 图

Fig. 2 Generation of Convergent MWVDs

2.1 构造范围多边形及生成虚拟点

首先构造点群的 Delaunay 三角网^[17](图 2(b)),连接三角网的边界点得到点群的边界多边形。然后,构造点群的范围多边形(图 2(c))。求出边界多边形的质心,延长连接质心与边界多边形各顶点的连线,延长的长度为与各顶点相关联的三角形边长的平均值;顺次连接延长线末端得到的多边形即为点群的范围多边形。范围多边形的顶点称为虚拟点。

2.2 生成 MWVD

首先把虚拟点加入原始点群,构成新点群(图 2(c));然后生成新点群(图 2(d))的 MWVD^[18]。由于虚拟点的加入,生成的 Voronoi 多边形都是收敛的(图 2(e))。

2.3 删除点

1) 运用式(3)计算每个点的选取概率 P_i (顾及了局部相对密度)。

$$P_i = \frac{A_i}{\sum_1^n A_i} \quad (3)$$

式中, A_i 是第 i 点的 Voronoi 多边形的面积。

2) 原始点群中的点可能为以下 3 种状态之一:“自由”、“固定”或“被删”。设定每个初始点都是“自由”的。

3) 把“自由”点按照选取概率的升序排列。

4) 找出“自由”点中选取概率最小的一个,若该点的所有邻居点都是自由的,则标记该点为“被删”,并“固定”其所有邻居点,返回步骤3);否则把“固定”点改为“自由”点,结束本轮删除。

2.4 判断算法是否结束

假设经过某一轮删除后,留下来的“自由”点有 N_c 个;经上轮删除后留下来的“自由”点有 N_l 个,综合后地图上点数的理论值(由式(1)计算)为 N_f 。特殊情况下,若只经过一轮删除, $N_c = N_l$ 。当一轮的点删除过程结束后,判断算法是否结束

的步骤如下。

- 1) 若 $N_c > N_f$, 返回 § 2.3, 继续执行算法;
- 2) 若 $|N_f - N_c| > |N_f - N_l|$, 上轮综合后得到的点群即为结果;否则,物理上删除本轮的那些“被删”点,剩余点即为综合后的点群。

以图3为例, $N_f \approx 23$ 。经过第一轮删除后 $N_c = 24$, 继续执行算法。经过第二轮删除后, $N_c = 17, N_l = 24$, 故 $|N_f - N_c| > |N_f - N_l|$, 算法终止,综合得到的点群即为最终结果(图3(b))。

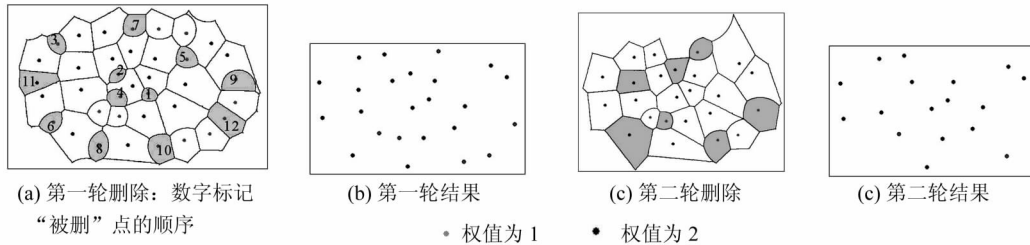


图3 点群要素的综合

Fig. 3 Point Feature Generalization.

3 实验与讨论

图4以中国西北某干旱县的水井分布数据进行实验。水井分为灌溉用井和其他井。水井类型属于间隔量表数据,依据专家建议,灌溉用井和其他井的权值分别为2和1。

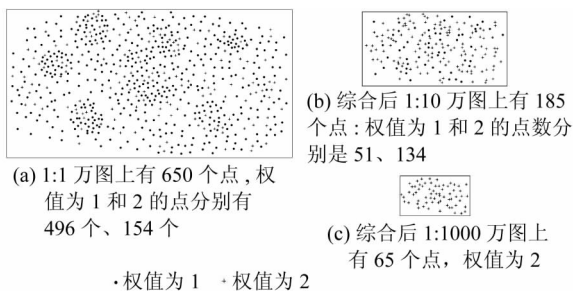


图4 不等权点群实验(地图并非精确地依比例尺绘制)

Fig. 4 Experiment on Points with Different Weight Values

图5选择河南省某县的中小学分布地图,以学生人数(比率量表数据)为权值构造加权Voronoi图进行了实验。从实验得到如下结论。

- 1) 本算法可以综合带权的点群,也可以综合权值相等的点群,这增强了算法的适应性。
- 2) 在综合过程中,点群的统计、专题、拓扑和度量信息传输均有相应的手段得以控制。

3) 点的权值借助于其专题属性中的间隔尺度或比率尺度数据来计算。

4) 综合后点群符号尺寸与地图比例尺之间的匹配关系需要进一步研究。

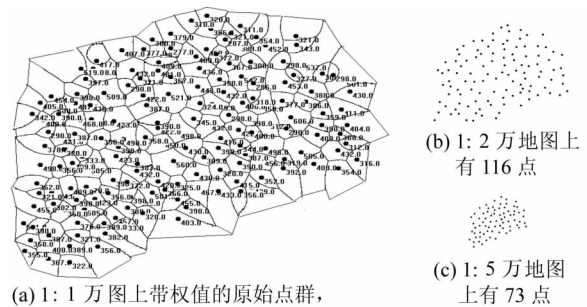


图5 中国河南某县学校分布地图综合(权值为学校学生数)

Fig. 5 Generalization of Schools in a Specific County in Henan Province, China (the Weight of a School is the Number of Students in the School)

4 结 语

本文提出的点群化简算法以加权Voronoi图作为工具,遵循地图综合的基本原则,考虑了地图综合中统计、专题、拓扑和度量信息的传播,使点群综合后的空间分布特征得以保持。其缺陷是没有考虑点群要素可视化过程中符号与地图尺度的匹配问题,因此,可能引起综合后地图上点群地物的压盖和拥挤。未来的工作中,作者将提出一些具

体的量化评价标准,把该算法与点群要素综合的其他算法进行比较。

参 考 文 献

- [1] Langran C, Polcker T. Integration of Name Selection and Name Placement [C]. The 2nd International Symposium on Spatial Data Handling, Zurich, Switzerland, 1986
- [2] van Kreveld M, van Oostrum R, Snoeyink J. Efficient Settlement Selection for Interactive Display[C]. Auto Carto 12, Bethesda, Maryland, USA, 1995
- [3] de Berg M, Bose P, Chong O, et al. On Simplifying Dot Maps[J]. Computational Geometry, 2004, 27(1): 43-62
- [4] 艾廷华,刘耀林. 顾及空间特征保持的点群化简方法[J]. 测绘学报, 2002, 25(1): 35-41
- [5] 蔡永香,郭庆胜. 基于 Kohonen 网络的点群综合研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(7): 626-629
- [6] 郭庆胜,郑春燕,胡华科. 基于邻近图的点群层次聚类方法的研究[J]. 测绘学报, 2008, 37(2): 256-261
- [7] Yan Haowen, Weibel R. An Algorithm for Point Cluster Generalization Based on the Voronoi Diagram[J]. Computers and GeoSciences, 2008, 34(8): 939-954
- [8] Sukhov V. Information Capacity of a Map Entropy [J]. Geodesy and Aerophotography, 1967, 10(4): 212-215
- [9] Sukhov V. Application of Information Theory in Generalization of Map Contents [J]. International Yearbook of Cartography, 1970, 10: 41-47
- [10] Neumann J. The Topological Information Content of a Map: An Attempt at a Rehabilitation of Information Theory in Cartography[J]. Cartographica, 1994, 31(1): 26-34
- [11] Bjørke J. Framework for Entropy-based Map Evaluation[J]. Cartography and Geographic Information Systems, 1996, 23(2): 78-95
- [12] 李志林,王家耀,武芳. 数字地图综合进展[M]. 北京:科学出版社, 2011
- [13] Topfer F, Pillewizer W. The Principles of Selection [J]. The Cartographic Journal, 1966, 3(1): 10-16
- [14] 钟业勋,吴丽芳,胡宝清. 关于比率量表可以表达为间隔量表、顺序量表和定名量表的数学证明[J]. 桂林理工大学学报, 2011, 31(1): 96-99
- [15] 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
- [16] Li Zhilin, Huang Peizhi. Quantitative Measures for Spatial Information of Maps[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 2002, 16(7): 699-709
- [17] Guibas L, Knuth D, Sharir M. Randomized Incremental Construction of Delaunay and Voronoi Diagram[J]. Algorithmica, 1992, 7(1-6): 381-413
- [18] Aurenhammer F, Edelsbrunner H. An Optimal Algorithm for Constructing the Weighted Voronoi Diagram in the Plane[J]. Pattern Recognition, 1984, 17(3): 251-257

第一作者简介:闫浩文,博士,教授,博士生导师。研究兴趣为地图自动综合和空间关系理论。

E-mail: haowen2010@gmail.com

A MWVD-based Algorithm for Point Cluster Generalization

YAN Haowen¹ WANG Bangsong¹

(1 Faculty of Geomatics, Lanzhou Jiaotong University, 88 West Anning Road, Lanzhou 730070, China)

Abstract: A new algorithm based on a multiplicative weighted Voronoi diagram (MWVD) was proposed in this paper. The idea of the algorithm is to: select appropriate factors for describing the statistical, thematic, topological and metric information, and integrate the factors in the process of point feature generalization to ensure different types of information may be transmitted correctly, and the generalization of point clusters is done by repetitively constructing MWVDs.

Key words: algorithms; multiplicative weighted Voronoi diagrams; point clusters; information transmission

About the first author: YAN Haowen, Ph.D., professor, Ph.D supervisor. He focuses on the theories of map generalization and spatial relations.
E-mail: haowen2010@gmail.com