

基于 Voronoi 图的点群目标普适综合算法

闫浩文^{1),2)} 王家耀²⁾

¹⁾(兰州交通大学数理与软件工程学院,兰州 730070) ²⁾(解放军信息工程大学,郑州 450052)

摘要 点要素综合算法的目的是在点数减少的情况下尽量正确地传输包含在点群中的信息,但是目前提出的两种算法均不能达到此要求,如为居民地选取的增长算法不能很好处理拓扑信息,而基于 Voronoi 的算法又没有考虑点的重要性程度(即点包含的专题信息)。为克服这些缺点,提出了一个新的算法。该算法采用以下两种方法确保不同信息的正确传输:(1)根据基本选取法则确保点数的正确;(2)反复构造剩余点的 Voronoi 图,并根据一个点与其周围点重要性程度的比较来确定其删除与否,从而使拓扑、专题和几何信息能正确传输。该算法的缺点是没有考虑点的符号化,由此可能导致地图上符号的压盖和重叠。

关键词 地图综合 算法 点状要素 Voronoi 图

中图分类号: P208 P283.7 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2005)05-0633-04

A Generic Algorithm for Point Cluster Generalization Based on Voronoi Diagrams

YAN Hao-wen^{1),2)}, WANG Jia-yao²⁾

¹⁾(Mathematics, Physics & Software Engineering Schools of Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070)

²⁾(Information Engineering University of CPLA, Zhengzhou 450052)

Abstract The main purpose of the algorithms for point feature generalization is to correctly transmit information contained by point clusters with the reduction of point number. However two groups of existing algorithms are not satisfactory: the incremental algorithms for settlement selection can't deal with topological information well, while the Voronoi-based algorithm doesn't take into account the importance values (thematic information) of points. To overcome their shortcomings, an integrated algorithm is given. The new algorithm employs two methods to ensure different kinds of information transmitted correctly: (1) determine the point number on resulting maps by the radical law, so that statistical (positional) information is transmitted correctly; (2) recursively construct Voronoi diagrams of the retained points, and delete points by comparing the significance value of a point with those of its Voronoi neighbors, so that topological, thematic and geometrical information are transmitted correctly. The drawback of this algorithm is that the symbolization of point features is not considered, which may cause overlap and congestion of map symbols on resulting maps.

Keywords map generalization, algorithms, point features, Voronoi diagrams

1 引言

地图上的地物,按照其符号的几何特征可以分为点、线、面 3 类。自 20 世纪 60 年代至今,专家们针对点要素^[1-4]、线要素^[5,6]、面要素^[7,8]等不同的地物类型提出了不同的自动综合算法。本文不讨论线状和面状要素的综合算法,而专注于点状要素的

自动综合。需要注意的是,本文的算法不是针对单点要素,而是点群要素(point clusters)。所谓点群,即指点群状分布的地物要素。

关于点群综合,目前提出的算法相对较少。从文献中可以知道,该类算法大部分是针对居民地综合的^[2-4];只有基于 Voronoi 图的一种算法^[1]普适性较强,可以针对其他点群状分布的地物要素。由于在地图综合中需要考虑地图包含的 4 类关键信息,

基金项目:国家自然科学基金项目(40301037);甘肃省自然科学基金项目(ZS031-B25-011-G);

收稿日期:2004-04-20; **改回日期**:2005-01-04

第一作者简介:闫浩文(1969 -),男,2002 年获武汉大学制图学与地理信息工程专业工学博士学位。现为兰州交通大学副教授。主要研究方向为地图自动综合和空间关系理论。已在国内外重要学术期刊上发表论文 27 篇。E-mail: yhw0118@sina.com

即统计信息 (positional or statistical)、拓扑信息 (topological)、专题信息 (thematic) 和几何度量信息 (metric)^[9,10], 但是由于已有的算法都只是考虑了其中的部分信息, 因而使算法应用很难具有普遍性。具体地说, 由于居民地选取算法没有考虑拓扑信息, 而基于 Voronoi 图的算法则没有考虑专题信息, 因此, 提出一种能同时正确传输 4 种信息的算法很有必要, 这也是本文要阐述的主要内容。

2 现有点群综合算法分析

为了说明新算法的必要性及新算法的思想, 有必要对点群综合的已有两类算法进行简要的分析。

2.1 考虑专题信息的点群综合算法

这类算法是针对居民地选取的, 共有 6 种算法^[2,3], 即居民地空间比率算法 (settlement-spacing ratio algorithm)、分布系数算法 (distribution-coefficient algorithm)、重力模型算法 (gravity-modeling algorithm)、分片算法 (set-segmentation algorithm)、镶嵌约减算法 (quadrat-reduction algorithm) 和圆增长算法 (circle-growth algorithm)。其中, 分片算法和镶嵌约减算法需要较多的人工干预, 不利于自动综合, 本文不再赘述, 其余 4 种算法是基于增长思想的, 即在不发生空间冲突的情况下, 居民地按照其重要性的顺序被依次选取。在空间比率算法和分布系数算法中, 居民地的选取只遵循一个标准, 即比较邻近居民地的重要性程度, 较重要的被选取。重力模型算法中, 一个居民地的选取与否是依据该居民地一个邻近区域内的居民地的重要性。圆增长算法是空间比率算法、分布系数算法和重力模型算法的改进, 它直接对所有居民地依据重要性程度由大到小排队, 以使选取一定数目的居民地变得非常容易 (在其他 3 种算法中, 当被选取的居民地数目变化时, 需要重新计算)。

这些算法虽可以确保较重要性的居民地被优先选取, 但是一些不重要的居民地也可能被选取, 条件是其邻近没有更重要的居民地。“圆增长算法的缺点是重要性程度大的居民地被选取的概率太大, 可能导致居民地的分布密度关系被破坏”^[3], 而且这个缺点同样在空间比率算法、分布系数算法和重力模型算法中也不可避免。

简言之, 居民地选取的上述 4 种算法虽可以保持综合后专题信息的正确性, 但是在很多情况下仍可能导致几何信息的错误传输。

2.2 考虑几何和拓扑信息的点群综合算法

艾廷华等提出的算法^[1]和上述居民地选取算法差异较大, 其主要体现在该算法主要考虑综合前后点群分布特征的保持, 而不区分每个点的重要性差异, 而且这个算法在点群综合时对点群的边界点和内部点采取不同的综合策略。

边界点化简方法步骤为: (1) 构建点群的 Delaunay 三角网, 提取点群边界; (2) 根据 Douglas-peucker 算法^[5]在边界上选取所谓的“关键点”; (3) 反复运用 Douglas-peucker 算法选取边界上的剩余点, 直到边界上的剩余点数目满足基本选取法则 (radical law)^[11]。

内点化简方法步骤为: (1) 从原始点群中删除初始的边界点, 得到内点集合; (2) 构建内点的 Voronoi 图; (3) 计算每个点的选取概率 $1/A_p$ (A_p 是 p 点所在 Voronoi 多边形的面积), 然后找出一个选取概率最小, 且其邻近点没有被删除的点, 并将其从点群中删除; (4) 重复步骤 (2), 直到没有满足条件的点可以从点群中删除为止; (5) 如果剩余点数目满足基本选取法则, 则结束点群化简, 否则从步骤 (2) 重新开始。

3 基于 Voronoi 图的新算法

针对现有两类算法的优缺点, 提出如下新算法。

3.1 新算法的基本思路

由上文的分析可见, 由于居民地选取算法只考虑点群的专题信息, 而基于 Voronoi 的算法又只考虑点群的拓扑信息和几何信息, 所以, 一个很自然的想法就是把这两类算法的优点都吸收进来, 形成一个新的、更具有普遍性的算法, 以便当需要考虑点的重要性时, 该算法应该有能力处理点的重要性; 当不需要考虑点的重要性时, 该算法就只处理拓扑和度量信息, 也就是说, 所有这 4 类信息 (统计的、拓扑的、度量的、专题的) 都要在新算法中考虑。根据此要求, 在算法中采用了如下措施:

(1) 运用基本选取法则^[11]来确定综合后的地图上点群中的点数;

(2) 由于 Voronoi 图已经被证明可以很好地表达地物要素的影响区域, 而且也被证明是点要素综合的良好工具^[1], 因此本算法运用 Voronoi 图来处理几何度量信息和拓扑信息;

(3) 每个点的重要性程度与该点所在的 Voronoi

多边形的面积同时被考虑。第 i 点的选取可能性按照下式计算:

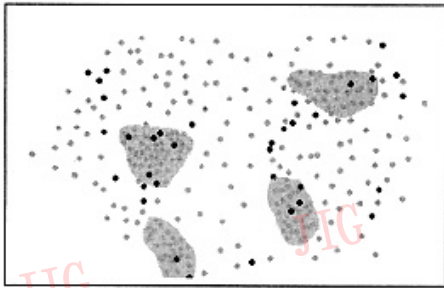
$$P_i = I_i \times \frac{1}{A_i} \quad (1)$$

此处, P_i 是第 i 点的选取可能性; I_i 是第 i 点的重要性程度值(专题信息); A_i 是第 i 点所在的 Voronoi 多边形的面积。

另外需要强调的是,新算法认为点群的分布边界不是一个多边形,而是一个模糊的带状区域。事实上,地图上的点群要素(如湖泊群、岛屿群、沙丘群等)的边界总是模糊的和不确定的。在此意义上说,由于前文已经讨论的基于 Voronoi 图的算法把点群边界看作多边形是不合适的,因此,在新算法中为原始点群增加了一个虚拟边界,进而在原始的边界和虚拟边界之间形成了一个带状区域。虚拟边界不但指出了点群的模糊分布范围,而且有利于为每个边界点形成一个影响区域,以便使所谓的“边界点”和“内部点”都可以用同样的方法进行化简。

3.2 新算法的过程

新算法有以下 3 个步骤:构造新的点集;基于 Voronoi 图的点群反复综合;确定最后保留在结果地图上的点数。为了论述的方便,本文采用图 1 中的点群作为算例源数据。



●重要性程度值为1 ●重要性程度值为2 ●●点群分布中心

图 1 实验源数据(共 301 点,重要性程度值为 2 的有 32 个点),比例尺为 1:10 000

Fig. 1 Source data for tests (There are 301 points in all. 34 points' importance values are 2). Map scale is 1:10,000.

(1) 构造新的点集,其步骤如下:

① 获得边界点:构造原始点群的 Delaunay 三角网,由此可以搜索得到一个包含所有初始点的多边形(见图 2)。该多边形的顶点就是边界点。

② 构造虚拟边界(见图 3):虚拟边界的每边平行于初始边界的对应边。虚拟边界点和初始边界点的距离等于初始边界上边长的平均值。虚拟边界点

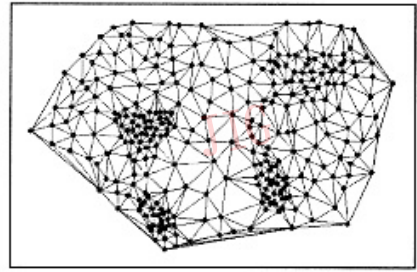


图 2 原始点群的边界提取

Fig. 2 Extraction of the original boundary

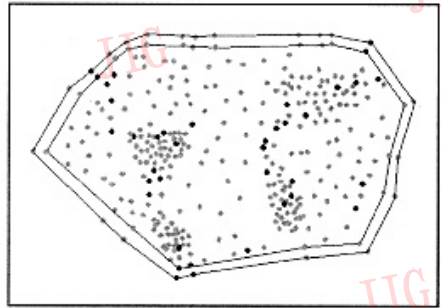


图 3 构建虚拟边界

Fig. 3 Construction of the pseudo boundary

与初始点集的综合称为新点集。

(2) 基于 Voronoi 图的点群反复综合的步骤如下:

① 构造新点集的 Voronoi 图(见图 4);

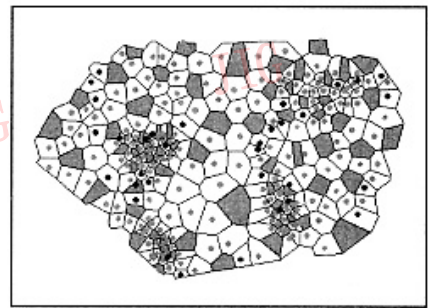


图 4 运用 Voronoi 图化简的点群图(阴影中的点将被删除)

Fig. 4 Simplification of point cluster using Voronoi diagram.

(Points in shadow are will-be-deleted ones)

② 根据公式(1)计算每个点的选取可能性值(虚拟边界点除外),然后把这点按照选取可能性值,按降序排列。

③ 逐个检验每一个点(假设为点 k),若其满足如下两个条件,则将被从点群中删除:1) $P_k < R \times \bar{P}$; 2) 与点 k 邻近的 Voronoi 多边形中,没有点被删除。重复该操作,直到没有点可以被删除为止,其中, P_k

是点 k 的选取可能性值; \bar{P} 是平均选取可能性值; R 是根据基本选取法则计算得到的点群选取比率(可能性)。

④如果保留点的数目小于等于根据基本选取法则计算得到的应选取点的数目,则结束算法;否则,把保留点作为新点集,再从第 1 步开始重新综合。

(3)确定最后保留在结果地图上的点数

经过最后一轮的删除操作,地图上保留点的数目(设为 n_1)小于等于根据基本选取法则计算得到的应选取点的数目(设为 n);反之,在倒数第 2 轮删除开始时,保留点的数目(设为 n_2)一般大于根据基本选取法则计算得到的应选取点的数目。如果 $|n - n_1| < |n - n_2|$,则结果图上保留的点数为 n_1 ;反之为 n_2 。新算法在每轮综合中,同时删除一批点(由于新算法认为同一个轮次中被删除的点具有同等的重要性,故其最后保留点数目一般不会等于 n)。这是与圆增长等算法不同的地方。

图 5 是运用该算法综合得到的一个结果图(结果图比例尺为 1:50 000,原始图比例尺为 1:10 000,但是由于受表达幅面限制,两图均为等大小的示意图)。

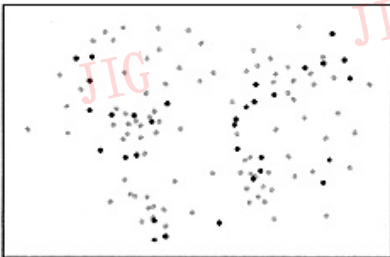


图 5 综合后结果图

(综合后保留点 122 个,其中重要性程度为 2 的点有 32 个,综合后的地图比例尺为 1:50 000)

Fig. 5 122 points are retained after generalization, in which 32 points importance values are 2 (Map scale after generalization is 1:50 000)

3.3 对新算法的评价

由新算法及其算例可以看出:

(1)很显然,最后保留的点的数目非常接近于根据基本选取法则计算得到的点数(由基本选取法则计算得到的点数为 134,算例中最后保留的点数为 122),即统计信息传输正确;

(2)由图 5 和图 1 的比较可见,地图上的点群分布中心和分布范围保持良好,即拓扑和几何度量信息传输正确;

(3)重要性程度大的点的选取比率较全部点的平均选取比率要大,也就是说,较重要的点更有可能被保留下来,即专题信息传输正确。

4 结 论

本文提出了点群化简的一个新算法。实验结果表明,由于该算法同时考虑了统计信息、拓扑信息、几何度量信息和专题信息,因此,该算法在地图综合的过程中能够正确传输这 4 种信息,而其他已有算法则不能。本算法的缺点是没有考虑点要素的符号化,这将可能导致综合后地图上产生由于比例尺变化而引起的地物压盖和拥挤等空间冲突,这需要在将来进一步研究。

参考文献 (References)

- 1 Ai Ting-hua, Liu Yao-lin. A method of point cluster simplification with spatial distribution properties preserved [J]. Acta Geodaetica Cartographica Sinica, 2002, 25(1): 35 ~ 41. [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.]
- 2 van Kreveld M, van Oostrum R, Snoeyink J. Efficient settlement selection for interactive display [A]. In: Proceedings of 12th Conference on Auto Carto. [C], Bethesda, MD, USA, 1995: 287 ~ 296.
- 3 Yukio S. Cluster perception in the distribution of point objects [J]. Cartographica, 1997, 34(1): 49 ~ 61.
- 4 Langran C E, Poiker T K. Integration of name selection and name placement [A]. In: Proceedings of 2nd International Symposium on Spatial Data Handling [C], Seattle, Washington, USA, 1986: 50 ~ 64.
- 5 Li Z L, Openshaw S. Algorithms for automated line generalization based on a natural principle of objective generalization [J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1992, 16(5): 373 ~ 389.
- 6 Wang Z S, Muller J C. Complex coastline generalisation [J]. Cartography and Geographic Information Systems, 1992, 20(2): 96 ~ 106.
- 7 Galanda M, Weibel R. An agent-based framework for polygonal subdivision generalization [A]. In: Proceedings of Spatial Data Handling 2002 [C/CD], Ottawa Canada, 2002.
- 8 Müller J C, Wang Z S. Area-patch Generalisation: A Competitive Approach [J]. The Cartographic Journal, 1992, 29(2): 137 ~ 144.
- 9 Bjørke J T. Framework for entropy-based map evaluation [J]. Cartography and Geographic Information Systems, 1996, 24(2): 78 ~ 95.
- 10 Li Z L, Huang P. Quantitative measures for spatial information of maps [J]. International Journal of Geographical Information Systems, 2002, 16(7): 699 ~ 709.
- 11 Töpfer F, Pillewizer W. The principles of selection [J]. The Cartographic Journal, 1966, 3(1): 10 ~ 16.