

支持地图综合的面状目标约束

Delaunay 三角网剖分^{*}

艾廷华¹ 郭仁忠²

(1 武汉测绘科技大学土地科学学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)

(2 深圳市规划国土信息中心,广东省深圳市振兴路 6 号,510030)

摘 要 针对多边形面状目标的综合问题,建立了二维空间中约束 Delaunay 三角网剖分结构,融入多边形的环、岛屿、边界、顶点的描述,通过形式化条件检索,在该结构上提取二维空间中各种感兴趣的由剖分三角形组成的区域,用于支持地图综合中邻近多边形的搜索、多边形弯曲部位的识别、冲突关系探测、多边形合并等操作。并对基于骨架线的图结构建立、分枝宽度计算等几何问题进行了详细讨论,指出了其在诸如双线河中轴化、街道中轴线网络模型建立、多边形合并中的邻近关系分析、面状目标标记自动定位领域的支持作用。

关键词 地图综合;空间分析;多边形;Delaunay 三角网;多边形骨架线

分类号 P283.1;P283.7;P208

地图综合要基于地图目标的几何特征、拓扑特征和语义特征的分析,需要特定的数据模型来支持表达目标本身及目标之间的这些特征信息。多边形作为地理目标中的重要几何类型之一,其综合处理是自动化制图综合和空间分析领域中感兴趣的问题,高效率的多边形化简、夸大、移位、合并等操作算子的模型与方法的探索是目前制图综合研究的热点(Muller, et al, 1992),然而相对于另一类几何类型——线目标的化简而言,研究所取得的成果是落后的(Bader, et al, 1997)。由于多边形是由线组成的,目前对面状目标综合多采用闭合曲线的化简方法,忽略了二维目标所特有的拓扑信息和语义信息结构,其中化简线的自交问题就难以克服。传统上采用数学形态学栅格扩张法进行多边形合并,由于扩张方向的盲目性,会使结果多边形形状产生较大的歪曲,栅矢转化中的精度也对结果产生不良影响。

在地图制图系统和 GIS 的空间分析中,多边形的综合处理可以分为 3 个层次:①多边形实体内部细节的综合,包括岛屿的选取与删除、多边形形状的概括、凹部细节的删除、夸大,细长狭窄部分中轴线的提取(水域多边形化简中,上游部分双线河变单线河)等;②相邻多边形间的关系处理,包括多边形合并、移位及叠置处理;③多边形群的综合,包括多边形的空间聚类、合并,要顾及总

体分布结构。

建立支持上述操作的数据模型是设计多边形综合算子的首要前提,多边形面状目标在空间分布上具有二维延展性特点,可以采用网络模型来描述。近年来,基于 Delaunay 不规则三角网结构的空问关系分析在制图综合研究中取得了不少成果(Ruas, 1995; Ware, et al, 1997a)。Delaunay 三角网具有“圆规则”或“最大最小角规则”,即任意三角形的外接圆不包含其他结点,使它最大可能地避免了尖锐内角的出现,在制图综合中可利用该模型进行目标间邻近关系搜索和冲突的探测(Ware, et al, 1997b; Peng, 1995)。另外,三角网的外围边界构建的是一个最小凸壳, Delaunay 三角网的对偶是另一种重要模型结构 Voronoi 图或 Thiessen 多边形,这两个性质也可解决制图综合算子设计中有关计算几何的问题。

如何将计算几何中 Delaunay 结构与地图综合中的面状目标剖分联系起来,有效地从模型中提取多边形综合感兴趣的结构信息和关系信息是本文研究的目的。下面将给出一种由 Delaunay 三角形子集存储表达二维空间不同特征剖分区域的数据结构,并对检索途径进行形式化描述,同时对基于该结构的多边形骨架线的建立及几何特征进行详细讨论。

收稿日期:1999-08-26.

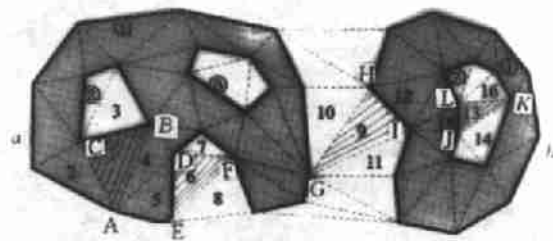
^{*} 国家测绘局测绘科技发展基金资助项目,编号 98020。

1 二维空间 Delaunay 三角形剖分及存储结构

三角网构成了对二维空间的剖分,与一般的三角网相比,Delaunay 三角网结构的外接圆规则使得其最大角避免地避免了狭长三角形的出现,保持了三角形角之间大小相似,从而由三角形边的连接体现目标间的“最邻近”特点(普雷帕拉塔, et al, 1992)。在二维地图的应用中,为保证构建的三角网不穿越多边形边界,使多边形边界强制性地成为三角形的一条边,得到的结果是改进了的约束 Delaunay 三角网(卢朝阳等, 1997)。顾及到后续综合操作的要求,多边形结构的环、边界弧段、顶点与 Delaunay 三角形元要建立各种结构关系,使得通过三角形子集的检索获得二维空间各种感兴趣的区域。Delaunay 三角网支持下的 SDS (simplicia data structure) 空间数据模型(Bundy, et al, 1995, 1997b)用于探测面状目标的邻近关系,该结构没有考虑多边形内含岛屿的情形,对多边形的凹部区域和邻近多边形间的空白区域也不能区分。本文提出一种新的由 Delaunay 三角形子

集表达二维空间不同特征区域的数据结构,并给出形式化检索途径。

对多边形目标的描述规定为多边形标识号 $Poly_i$ 、外环标识号和岛屿标识号 $Loop_i$,如图 1 所示。对三角形描述规定为三角形标识号 T_i 、三角形重心、三边平均长度、顶点所在的环、顶点所在的多边形、三边邻近三角形。其中三角形重心用于辅助探测三角形与多边形的包含关系;三边平均长度用于决定节点间的有效距离。基于这种描述,建立三角网结构的定义表,图 1 中的晕线三角形在表中有描述,如表 1 所示。



a, b 表示多边形;①,②...表示环;1,2...表示三角形;
 $A, B \dots$ 表示三角形顶点

图 1 约束 Delaunay 三角网结构标识

Fig. 1 Some Marks for Constrained Delaunay TIN Structure

表 1 Delaunay 三角网结构描述

Tab. 1 A Description Table for Delaunay TIN

三角形号	三角形顶点			三边平均长度	三角形重心	邻近三角形
T_i	(VERTEX, i)	TO.POLY, i)	TO.LOOP, i)	l_i	C_i	(N_1, N_2, N_3)
1	(A, a, 1)	(B, a, 2)	(C, a, 2)	l_1	C_1	(2, 3, 4)
6	(D, a, 1)	(E, a, 1)	(F, a, 1)	l_6	C_6	(7, 8, 5)
9	(G, a, 1)	(H, b, 1)	(I, b, 1)	l_9	C_9	(10, 12, 11)
13	(J, b, 2)	(K, b, 2)	(L, b, 2)	l_{13}	C_{13}	(14, 15, 16)

假设第 i 个三角形 T_i 的第 j 顶点表示为 V_{ij} ($j=1, 2, 3$), T_i 的邻近三角形为 N_{i1}, N_{i2}, N_{i3} , 第 i 个三角形的重心为 C_i , 三边平均长度为 l_i , 顶点 V_{ij} 所在的环为 $TO.LOOP_{ij}$, 所在多边形为 $TO.POLY_{ij}$ 。用 $C_i \odot Poly_k$ 表示点 C_i 位于多边形 $Poly_k$ 内, 用 $C_i \oslash Poly_k$ 表示点 C_i 位于多边形 $Poly_k$ 外, 在多边形的组织中约定外环为 1, 岛屿为 2, 3, 4, ...。则各种感兴趣区域通过检索三角形集可表达如下。

1) 多边形 $Poly_o$ 所在区域为:

$$\{T_i | V_j: TO.POLY_{ij} = Poly_o \& C_i \odot Poly_o\}$$

图 1 中多边形 a 所在区域三角形集检索结果如图 2(a) 深色阴影所示。

2) 多边形 $Poly_o$ 的凹部区域为:

$$\{T_i | V_j: TO.POLY_{ij} = Poly_o \&$$

$$TO.LOOP_{ij} = 1 \& l_i < \lambda \& C_i \oslash Poly_o\} \quad (1)$$

式中, λ 为凹部区域宽度阈值。图 2(b) 深色阴影表示多边形 a 的凹部区域三角形检索结果。

3) 多边形 $Poly_o$ 的内环 $Loop_0$ ($Loop_0 \geq 2$) 所在区域为:

$$\{T_i | V_j: TO.POLY_{ij} = Poly_o \&$$

$$TO.LOOP_{ij} = Loop_0 \& C_i \oslash Poly_o\}$$

多边形 a 的内环 3 所在区域如图 2(c) 深色阴影所示。

4) 多边形 $Poly_o$ 的内环 $Loop_{01}$ 和 $Loop_{02}$ 间的邻近区域为:

$$\{T_i | V_j, \exists k, m: TO.POLY_{ij} = Poly_o \&$$

$$(TO.LOOP_{ik} = Loop_{01} \& TO.LOOP_{im} =$$

$$Loop_{02} \parallel TO.LOOP_{ik} = Loop_{02} \&$$

$$TO.LOOP_{im} = Loop_{01})\}$$

多边形 a 的内环 2 与 3 间的邻近区域如图 2(d) 深色阴影所示。

5) 多边形 $Poly_o$ 的外环和内环 $Loop_0$ 间的邻近区域为:

$$\{T_i | \forall j, \exists k, m: TO.POLY_{ij} = Poly_o \& (TO.LOOP_{ik} = 1 \& TO.LOOP_{im} = Loop_0 \parallel TO.LOOP_{ik} = Loop_0 \& TO.LOOP_{im} = 1)\}$$

(2)

多边形 a 的内环 2 与外环间的邻近区域如图 2(e) 深色阴影所示。

6) 多边形 $Poly_{o1}$ 与 $Poly_{o2}$ ($o1 \neq o2$) 间的邻近区域为:

$$\{T_i | \exists j, k: (l_i < \lambda) \& (TO.POLY_{ij} = Poly_{o1} \& (TO.POLY_{ik} = Poly_{o2} \parallel TO.POLY_{ij} = Poly_{o2} \& TO.POLY_{ik} = Poly_{o1}))\}$$

式中, λ 为邻近区域距离阈值。多边形 a 与 b 间

的邻近区域如图 2(f) 深色阴影所示。

基于该结构,通过检索运算,可实现地图综合中邻近多边形的搜索、多边形弯曲部位的识别、冲突关系探测、多边形合并等操作。

2 基于骨架线的几何特征分析

计算几何中已经证明,连接 Delaunay 三角形的外心得到的是 Delaunay 三角网的对偶 Voronoi 图(普雷帕拉塔, et al, 1992), Voronoi 图是空间邻近分析中重要的支持模型,多边形面元表达了三角网结点间的邻近区域。当修改三角形的外心连接可获得另一种结构线图,表达平面区域的延展方向和趋势,这便是 Delaunay 三角网的骨架线。依据三角形元的邻近关系提取的骨架线隐含着地图综合中十分有用的信息特征,首先按下述方法提取骨架结构线。

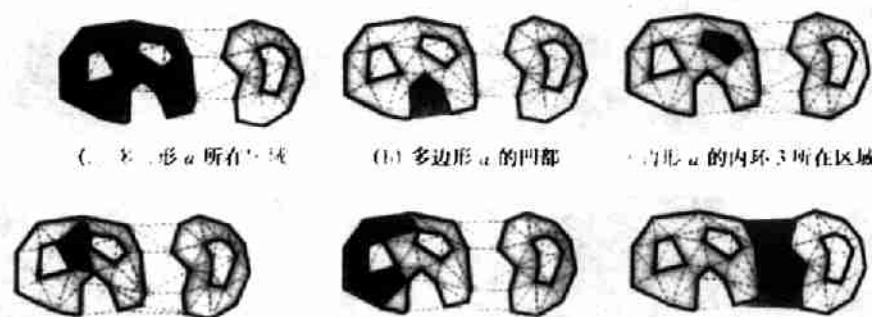


图 2 各种感兴趣区域三角形集检索结果

Fig. 2 Triangle Set Selection Results for Different Interesting Areas

2.1 骨架线图建立

定义函数 $f(T_i): T_i \rightarrow \{0, 1, 2, 3\}$ 表示三角形 T_i 拥有邻近三角形的个数。对研究区域内的三角形进行分类: $f(T_i) = 1$, 则 T_i 属于 I 类三角形; $f(T_i) = 2$, 则 T_i 属于 II 类三角形; $f(T_i) = 3$, 则 T_i 属于 III 类三角形; $f(T_i) = 0$, 则 T_i 为孤立三角形, 不予考虑。

按照下述方法对 3 种三角形内的中轴线进行连接, 并将两邻近三角形的公用边称为邻近边。I 类三角形连接惟一邻近边的中点与其相对的顶点: $A \rightarrow P_1$ 或 $P_1 \rightarrow A$; II 类三角形连接两条邻近边的中点: $P_1 \rightarrow P_2$ 或 $P_2 \rightarrow P_1$; III 类三角形连接重心与 3 边的中点: $O \rightarrow P_i$ 或 $P_i \rightarrow O$ ($i = 1, 2, 3$), 见图 3。

将中轴线依次连接起来获得图结构。由 I 类和 III 类三角形出发, 按三角形间的邻近关系扩展搜索, 终止于 I 类或 III 类三角形, 得到由序列点 $|Q_i|$ 组成的图的一条边。当所有的 I 类三角形

作为出发或终止搜索过一遍, 所有的 III 类三角形作为出发或终止搜索过 3 遍时, 网络图构建完成。I 类和 III 类三角形在中轴线图结构中扮演结点的角色, 当 III 类三角形有 m 个, I 类三角形有 n 个时, 则中轴线图有 $(3m + n)/2$ 条边, 图上每个非叶子结点关联 3 条边。

从图 4 的 Delaunay 三角网骨架线图可看出, 当区域主要由 I、II 类三角形构成时, 具有明显的延展方向, 骨架线呈树状图, 无闭合环出现; 当区域主要由 III 类三角形构成时, 骨架线呈网络图(由于连接的是三角形重心而非外心, 该网络图不是 Voronoi 图)。在地图应用中, 线、面目标上构建 Delaunay 三角网提取的骨架线属于树状图情形, 而在群点目标上构建 Delaunay 三角网提取的骨架线则属于网络图情形。

2.2 骨架线的几何特征

这里重点研究在由 I、II 类三角形组成的区域上提取的树状骨架线及其对多边形几何特征的

影响,对于网络状骨架线则可借鉴 Voronoi 图的有关特征来描述。

区域的骨架树提取可看作是 GIS 中多边形缓冲区的反解问题,即已知缓冲区求其中轴线。在骨架树中,一条分枝对应着一个缓冲区,据此建立多边形与中轴线的关系。常规 GIS 分析中,缓冲区的宽度是一个定值,这里把它推广到一般,认为宽度是中轴线上位置的函数,即 $w_x = w(d_x)$ (d_x 为考察点 x 距中轴线某一端点的距离),多边形便可由骨架中轴线上的点 x 和缓冲宽度函数 $w(d_x)$ 决定。实际应用中,难以获得宽度函数 $w(d_x)$,可应用微分的方法在一定精度范围内将中轴线分段,使每一段的缓冲宽度为定值,把问题简化,如图 5 所示。设第 i 段中轴线由系列点 $\{P_{ij}\} (j=0,1,2,3\cdots)$ 组成,宽度为 w_i ,缓冲区 i 由函数 $\text{Buffer}_i = f(\{P_{ij}\}, w_i)$ 表示,则多边形可表示为:

$$\text{Poly} = \sum_{i=0}^k \text{Buffer}_i = \sum_{i=0}^k f(\{P_{ij}\}, w_i)$$

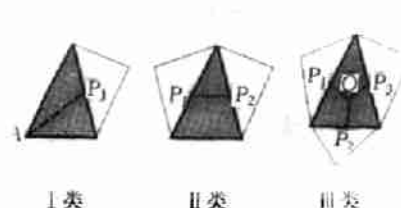


图 3 3 类三角形中轴骨架线的连接
Fig. 3 Center-line Linking Ways for Three Types of Triangles

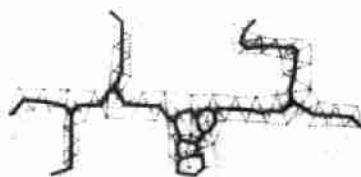


图 4 骨架线提取
Fig. 4 Skeleton Extracting

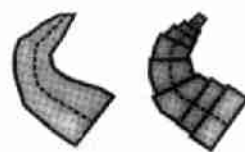


图 5 微分模拟变宽度缓冲区
Fig. 5 Using Differential Method to Describe Buffer Polygon with Changing Width

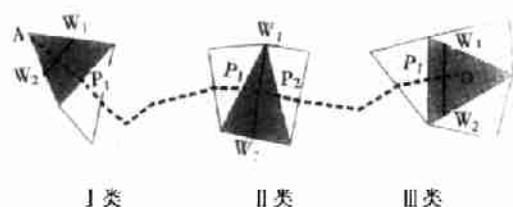


图 6 基于三角网的缓冲宽度表达

Fig. 6 A Buffer Width Representation Based on TIN

2.3 骨架线对多边形地图综合的支持作用

基于 Delaunay 三角网结构的骨架线是在二维空间上提取的一维特征,它具有区域等分性,同时依据多边形平面形态可分别生成树结构和图结构,在树结构上可进行层次化分析,在图结构上可进行连通性、邻近性分析。这些特征和分析对面状目标地图综合具有较强的支持作用,本节结合实例通过检索二维空间中不同区域的三角形作中轴化说明其用途。

1) 双线河变单线河 (Allister, et al, 1997)。在 Delaunay 结构上建立了该方法,这是骨架线的直

缓冲区反解问题及其两个参量 $\{P_{ij}\}$ 和 w_i 的几何意义在地图综合中具有重要用途,寻求一种方法解算 $\{P_{ij}\}$ 和 w_i 很有意义。上述建立的多边形微分模型与 Delaunay 三角网骨架线可建立联系,可以在三角网上求解两个参量 $\{P_{ij}\}$ 和 w_i 。 $\{P_{ij}\}$ 直接由按本节方法生成的骨架线 $\{Q_i\}$ 代替, w_i 在三角形上表示时,仍然区分为 I、II、III 类,如图 6 所示, I 类三角形作与 AP_1 垂直的中位线 W_1W_2 ; II 类三角形作与 P_1P_2 垂直的 W_1W_2 ; III 类三角形内有 3 条中轴线穿越,作考察中轴线 OP_1 的垂直平分线 W_1W_2 。计算 $\{P_{ij}\}$ 上任一点 P_x 宽度,先寻找 P_x 所在的三角形 (P_x 必位于且只位于一个三角形内),然后根据三角形类型计算长度 $|W_1W_2|$ 即可。平均宽度通过中轴线的加权平均值求得:

$$\bar{w} = \sum_{i=0}^k \frac{|Q_i Q_{i+1}|}{l} |W_{i1} W_{i2}|$$

式中, l 为中轴线长度。

接应用。如果附以本文的宽度分析,该方法可得到改进,使之根据河流宽度自动决定变换位置,进行局域中轴化。如图 7 所示,阴影内缓冲区宽度 $|W_1W_2| < \lambda$,该部分河流作中轴化处理,其他部分保持双线河结构,其中 λ 取值根据制图综合规则由双线河的最小宽度决定。

2) 街道网模型建立。基于街区多边形提取街道中轴线并建立网络模型是城市地图综合的首要步骤,Olson(1995)曾提出了中轴线生成的垂线族法;Thomas(1998)基于栅格结构运用数学形态学减细变换算子提出了一种方法。运用 Delaunay 骨架线提取街道中轴线在保持街道几何特征、拓扑特征上都要占优势。按照式(1)和式(2)检索三角形求并,提取骨架线,对交叉口作适当处理即可,同时可计算街道的宽度作为综合分级的依据,图 8 描述了该过程。

3) 建筑物多边形的合并。首先判断哪些建筑

物是邻近的, Regnauld (1997) 基于最小支撑树 (minimum spanning tree, MST) 提出了邻近关系判断方法, 采用最小欧氏距离作为判断指标。用两个代表性的点之间的距离描述面与面之间的邻近性, 忽略面目标的延展性, 会产生不合理的结果。如图 9 所示, A 与 B、A 与 C 间的距离相等, 但显然 A 与 B 间的邻近性要强于 A 与 C 间的邻近性。通过 Delaunay 骨架线分析会得到改善, 建立三角网之后按式(2)检索三角形, 即选取连接 2 个或 3 个建筑物的三角形, 提取骨架线, 以骨架线分枝多边形的平均宽度 $\bar{w}$ 表示建筑物间的邻近距离。然后在骨架线上拟合直线, 以该直线的法线方向作为建筑物合并前的移位方向。这样, 不仅探测到考察建筑物周围的邻近建筑物, 还可算出邻近距离和邻近方向。由于骨架线是相邻建筑物间空白区域的等分线, 骨架线构成了仿 Voronoi

图结构, 但不是 Voronoi 图, 因为位于面元中心的不是一个点, 而是建筑物多边形的最小凸壳, 包围建筑物的面元也不是凸多边形, 如图 10 所示。基于等分骨架线计算的平均宽度考虑了建筑物的延展方向, 与欧氏距离相比, 对邻近关系的描述更符合视觉感知。应用该方法考察图 9, 显然, A 与 B 的邻近距离小于 A 与 C 间的邻近距离。

4) 地貌特征表达。地貌综合中, 谷地深度、谷地宽度是重点考察的两个指标。基于 Delaunay 三角网骨架线可以比较好地对谷地描述, 如图 11 所示, 骨架线即为谷地线的分布, 骨架线所在缓冲多边形平均宽度即谷地宽度, 骨架线长度即为谷地深度。

5) 注记自动定位。骨架线的区域等分性特征使得其可以在诸如河流、水库、街道等要素的注记定位中发挥作用。



图 7 双线河变单线河

Fig. 7 Axis Conversion from Shallow River Polygon

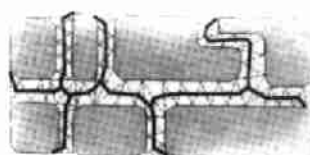


图 8 提取中轴线建立街道网络模型

Fig. 8 The Street Network Modeling Based on DTN Skeleton

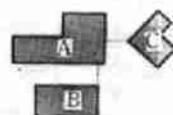


图 9 建筑物间的邻近关系

Fig. 9 Neighbor Relation Illustration between Buildings

3 结 语

面向地图综合的空间数据模型对地图目标的几何特征、拓扑特征和语义特征的描述有自身的要求, 近年来, 该领域的研究集中在如何寻求有效的数据模型表达空间冲突、探测目标间的邻近关系、从目标几何特征识别上析出空间知识。本文针对多边形面状目标的综合问题, 建立了二维空间中约束 Delaunay 三角网剖分结构, 实现二维空间中各种区域关系的形式化表达和结构信息的描述, 与 SDS 模型相比, 对面域空间结构的表达更趋完备, 形式化的描述使得建立在该结构上的综合算子操作性更强。本文提出的多边形变宽度缓冲区模型, 指出了建立在 Delaunay 三角网基础上的骨架线在多边形形态结构分析中的重要作用。在进行建筑物综合实验研究时, 建筑物多边形之间骨架线的连接获得了仿 Voronoi 图结构, 分析该结构可获得邻近距离、邻近方向、相对分布密度 (由仿 Voronoi 图面元内建筑物多边形所占面积百分比表示), 从而探测空间冲突, 实施合并移位

操作, 可以对 Regnauld 的 MST 模型中的距离计算加以改进。



图 10 建筑物间空白区域中轴线提取得到仿 Voronoi 图

Fig. 10 Generating Simulated Voronoi Diagram Based on Extracted Skeleton from Gap Area between Buildings

Delaunay 三角网模型的研究在地图综合、空间分析领域呈热门趋势, 本文建立了面状目标间的 Delaunay 三角网剖分, 其他还可建立在线与线之间 (基于等高线的弯曲匹配提取地貌形态)、线与面之间 (街道与建筑物关系处理、移位传播)、点与点之间、点与线之间。目前, 有关学者基于不同目的进行了单方面的个体研究。将这些模型统一起来, 建

立形式化描述机制,是该领域研究的方向。



图 11 基于骨架线的谷地形态描述

Fig. 11 Valley Description on the Basis of DTN Skeleton

参 考 文 献

- 1 Muller J C, Wang Z. Area-path Generalization: A Competitive Approach. *The Cartographic Journal*, 1992, 29 (2):137~144
- 2 Bader M, Weibel R. Detecting and Resolving Size and Proximity Conflicts in the Generalization of Polygonal Maps. In: *Proceedings of the 18th ICC*. Sweden: Stockholm, 1997. 1 525~1 532
- 3 Ruas A. Multiple Paradigms for Automating Map Generalization: Geometry, Topology, Hierarchical Partitioning and Local Triangulation. *ACSM/ASPRS Annual Convention and Exposition*, 1995. 69~78
- 4 Ware J M, Jones C B, Bundy G L. A Triangulated Spatial Model for Cartographic Generalization of Areal Objects. In: Kraak M J, Molenaar M eds. *Advance in GIS Research II (the 7th Int. Symposium on Spatial Data Handling)*. London: Taylor & Francis, 1997a. 173~192
- 5 Ware J M, Jones C B. A Spatial Model for Detecting (and Resolving) Conflict Caused by Scale Reduction. In: Kraak M J, Molenaar M eds. *Advance in GIS Research II (the 7th Int. Symposium on Spatial Data Handling)*. London: Taylor & Francis, 1997b. 547~558
- 6 Jones C B, Bundy G L, Ware J M. Map Generalization with a Triangulated Data Structure. *Cartography and GIS*, 1995, 22(4):317~331
- 7 Peng W. Automatic Generalization in GIS. *The Netherlands: ITC Publication Series*, 1995
- 8 Regnauld N. Recognition of Building Cluster for Generalization. In: Kraak M J, Molenaar M eds. *Advance in GIS Research II (the 7th Int. Symposium on Spatial Data Handling)*. London: Taylor & Francis, 1997. 185~197
- 9 Allister M M, Snoeyink J. Medial Axis Generalization of Hydrology Networks. *ACSM/ASPRS*, 1997
- 10 Federico Thomas. Generating Street Center-Lines from Vector City Maps. *Cartography and Geographic Information Systems*, 1998, 25(4):221~230
- 11 Olson N. An Algorithm for Generating Road Center-Lines from Road Right-of-Way. In: *Proceedings of the 12th International Symposium on Computer-Assisted Cartography*. USA: Charlotte, North Carolina, 1995. 11~22
- 12 Wu H H. Structured Approach to Implementing Automatic Cartographic Generalization. In: *Proceedings of the 18th ICC*. Sweden: Stockholm, 1997(1):349~356
- 13 普雷帕拉塔 F P, 沙莫斯 M I. 计算几何. 庄心谷 译. 北京:科学出版社, 1992
- 14 卢朝阳, 吴成柯. 任意多边形内带特征约束的散列数据的最优三角剖分. *计算机设计与图形学学报*, 1997, 9(4):302~308

艾廷华,男,29岁,博士,副教授。现主要从事地图综合、GIS不确定性及动态电子地图研究。代表成果:地图综合软件 AutoMap。

E-mail: aith@wuhan. cn gb. com

A Constrained Delaunay Partitioning of Areal Objects to Support Map Generalization

AI Tinghua¹ GUO Renzhong²

(1 School of Land Science, WTUSM, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

(2 Shenzhen Municipal Planning and Land Information Center, 6 Zhenxing Road, Shenzhen, China, 510030)

Abstract Map generalization has to consider the map object properties in geometrical, topological and semantic aspects. It also needs special supporting data model to represent these characteristics of both objects and their relations. With respect to the generalization of polygon objects, this paper presents a method of Delaunay TIN partitioning in two-dimensional space. The constructed structure involves the description of polygon loop, islands, boundary and vertexes, and so can retrieve kinds of interesting region composed of partitioning triangles through formalizing selection, such

as the concave part of one polygon, the adjacent area between polygons, the inside area between one island and outside boundary within one polygon etc. Compared with SDS model built by Bundy, Ware and Jones, this model is more complete in describing graphic elements, and the formalization selection strategy makes the operator algorithm built on the model more direct and easier to design. This data structure can be used to support such operations as finding neighbor polygons, identifying bend parts of polygon, detecting conflict region between polygons and merging polygon group.

As the extracted skeleton line from Delaunay TIN contains a little of information supporting map generalization, the paper discusses an approach of generating center-lines based on Delaunay TIN in detail. The offered approach distinguishes the triangles into three types according to the number of each triangle with neighbor triangles. For each type of triangles, a skeleton line link way is provided as well as width representation. Depending on the distribution of different types of triangle, the skeleton structure could be tree structure or graph structure. The skeleton graph has some properties similar to Voronoi diagram in space separating equally. But the cell polygons are not convex polygons. The tree structure has the characteristic that each node has three extending branches.

After investigating the relation between polygon and skeleton, the paper presents a model to describe polygon shape which is regarded as a buffer with changing width on the basis of buffer polygon differential ideals.

$$\text{Poly} = \sum_{i=0}^k \text{Buffer}_i = \sum_{i=0}^k f(|P_{ij}|, w_i).$$

According to this model, the skeleton extracting process could be regarded as the inverse of buffer generating which is a popular spatial analysis operator in most GIS software. Furthermore, the paper analyzes the width computation of polygon buffer which is related to skeleton line, including the width of one determinate location and the mean width of the whole buffer polygon. Skeleton lines can play important supporting roles in fields of single river axis conversion, street center-line network construction, neighbor building polygon detection and area object annotation location. Some of the above applications are illustrated in the paper with experimental result. Among them, the approach of using simulated Voronoi diagram to represent and assess building group is very interested and useful. This study can be applied to building density analysis, building adjacent distance and direction analysis in urban map generalization. Based on this method, Regnauld's MST model for building cluster generalization is able to be improved in adjacent distance computation.

Key words map generalization; spatial analysis; polygon; Delaunay TIN; polygon skeleton

AI Tinghua, male, 29, Ph. D, associate professor. His major interests involve map generalization, GIS uncertainty problems. His typical achievements are map generalization software AutoMap, etc.

E-mail: aith@wuhan.cngb.com