

基于子图运算的空间数据拓扑关系 及其自动生成^{*}

邓朝晖 卢 健 林宗坚

(武汉测绘科技大学摄影测量与遥感系,武汉市珞喻路39号,430070)

摘要 讨论了地图的基本元素及其拓扑关系。采用先建立子图拓扑关系,再以并运算方式产生图拓扑关系的思想。在实现方式上,以栅格影像为基础,用种子填充方式产生子图拓扑关系;采用面目标匹配法顺序搜索方式合并子图,生成图拓扑关系,并以自动方式实现上述思想。

关键词 子图,拓扑关系,面目标匹配

分类号 TP391.4, O189.11

1 定义与符号

1.1 区域

区域指相互连通的一组像素的集合。连通有四路连通和八路连通2种。

1.2 区域的表示

区域总有一个封闭的外轮廓线。若区域内含有空洞,则它还有一个或多个内轮廓线。描述一个区域可以用边界表示法和内点表示法两种。

1.3 内点、边点和种子内点

区域中的任一像素都称为内点,轮廓线上的所有点都称为边点。本文要求给出区域的同时还指出区域中任意一个内点,该内点称种子内点。

1.4 弧段、弧段链、多边形

对于区域的边界表示法,介于相邻的边界线交汇点间的边界线称为弧段;从任一弧段出发,沿着交汇于它的端点的各邻接弧段中较左的一条前进,最后回到出发点形成相邻弧段,所构成的首尾相连的序列称为弧段链。由一条或多条弧段链所围定的具有某种特定属性或属性组合区域定义为一个多边形。

本文规定,弧段方向是它矢量化时的方向。多边形方向是:对于多边形任一内点,沿着包围多边形的弧段的方向总使该内点位于弧段的右边。弧段链方向与多边形方向一致,因此,弧段方向有正、负之分。

1.5 拓扑邻接

空间图形的同类元素之间的拓扑关系。如面元素间存在接边、分离与包含3种关系。本文中面与多边形、线与弧段分别为同一概念,而结点指弧段端点,不包含弧段中间点。

1.6 拓扑关联

空间图形的不同类元素间的拓扑关系。文中以M代面、L代线、P代点,R记作元素之间的

收稿日期:1994-10-18. 邓朝晖,男,26岁,助教,现从事图形图像学研究。

* 国家测绘局“八五”重点科技攻关资助项目。

关系。

1.7 图

图 G 定义为又一个偶对 (V, E) , 记作 $G = (V, E)$ 。其中, V 是一个集合, 它的元素为点; E 是无序积 $V \& V$ 的一个子集合, 其元素为线。

1.8 子图

图 H 是 G 的子图, 写作 $H \subseteq G$, 如 $V(H) \subseteq V(G)$, $E(H) \subseteq E(G)$ 。且 H 中边的重数不超过 G 中对应的边的重数(连接两个相同点的边的条数称为重数)。

TR 记为图的拓扑关系, SR 记为子图的拓扑关系, 则

$$TR = SR_1 \cup SR_2 \cup SR_3 \cup \dots \cup SR_n$$

拓扑关系共有 9 种: $R(P, P)$ 、 $R(L, L)$ 、 $R(M, M)$ 、 $R(P, L)$ 、 $R(P, M)$ 、 $R(L, P)$ 、 $R(L, M)$ 、 $R(M, P)$ 、 $R(M, L)$ 。

2 子图拓扑关系自动生成

在地图扫描数字化系统中, 子图从扫描影像上获取。以栅格形式存储影像, 并进行线划跟踪, 标记线划信息, 经图像细化处理后, 得到线划图二值影像。以下按步骤讨论自动生成原理。

2.1 种子填充

如图 1, 种子填充在栅格数据上进行。

2.1.1 初始种子点识别

实线为实际作业区域, 虚线表示内、外矩形范围框。在内矩形框内扫描, 只要发现一个内点值为 0 即为第一个种子内点。

2.1.2 内矩形框内连通区域作标号扩展

利用初始种子内点, 将其所在区域快速填充以标号 1。再采用行或列扫描, 在内矩形框内判别。只要该点标号值为 0, 即赋予标号 B , B 为最近一次标号值加 1。顺序下去, 内矩形框内种子点所属区域, 均被标识。

2.1.3 内、外矩形框之间连通区域作标号

对内点落入内、外矩形框内的连通区域, 采用从里向外, 分左上、右上、左下、右下、上、下、左、右 8 块, 分块扫描进而作标号扩展的办法。上、下、左、右块只需判别一个方向, 而其余 4 块需判别两个方向。

2.2 $SR(L, P)$ 、 $SR(P, L)$ 、 $SR(L, M)$ 、 $SR(P, M)$ 的建立

填充影像在 8 邻域内, 经自动跟踪矢量化, 可获得弧段与点拓扑关系文件。以下工作在矢量形式中进行。

表 1 线元素拓扑关系文件

ID	FP	EP	LCOD	RCOD	X_{\min}	Y_{\min}	X_{\max}	Y_{\max}	ATTR
内 标 识 号	起 始 点 指 针	终 止 点 指 针	左	右	坐 标 范 围		属 性		

表 2 点元素拓扑关系文件

X	Y	RLP	RMP
X 坐 标	Y 坐 标	相关联的 线指针	相关联的 面指针

左码、右码为面元素标号, 点与面的关系可通过点、线、面的顺序获取。

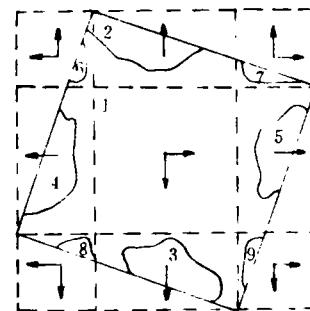


图 1 标号扩展示意图

(图中数字为标号值)

2.3 $SR(M, L)$ 、 $SR(M, P)$ 关系的建立

2.3.1 弧段索引文件的建立

顺序搜索弧段文件,只要弧段左码或右码有一项等于面元素内标识号,将该弧段号写入弧段索引文件。弧段文件搜索完毕,将组成多边形的所有弧段提取出来,依检索顺序写入弧段索引文件,并将索引文件中弧段起始指针与末指针写入多边形文件中。同时,计算出多边形内重心点作为种子内点(如图2)。

这时,组成多边形的弧段链还未形成,且岛屿关系还未知,需重组弧段索引文件。

2.3.2 索引文件排序

将索引文件进行重排序,排序的依据是求出每条线元素的外接矩形框,得坐标(X_{\min} , Y_{\min})、(X_{\max} , Y_{\max})。设立4个优先等级,依次为 Y_{\max} 、 X_{\max} 、 Y_{\min} 、 X_{\min} ,将外围弧段组织在前,岛屿与悬线在后。

2.3.3 外围弧段链生成

由索引文件中第一条弧段出发,判别其与多边形方向的关系,若一致为正,反向则为负,重新写入索引文件。根据其终点决定后继弧段,并确定其方向。如此循环下去,直至找到一条终点与第一条弧段起点相同的弧段,则外围弧段链生成完毕。

2.3.4 悬线与岛屿关系生成

悬线左码和右码相同,故根据这一显著标志可自动将其记录。

最外围边界弧段链和悬线生成之后,索引文件进行了标记,对剩下的弧段重复2.3.3步骤,即可组织起岛屿的弧段链。对任一多边形来说,其对空洞即岛屿的嵌套关系只有一层。若大岛屿内又嵌套小岛屿,因大岛屿本身为一多边形,其包含小岛屿,故外围多边形可通过分级关系索引。

表3 面元素拓扑关系文件

ID	FP	EP	HFP	HEP	KFP	KEP	INX	INY	RPP	RMP	ATTR
内 标 识 号	弧 段 索 引 指 针	弧 段 索 引 指 针	悬 线 指 针 起 始	悬 线 指 针 起 始	悬 线 指 针 末 指 针	空 洞 指 针 起 始	空 洞 指 针 末 指 针	种 子 内 点 坐 标	相 关 指 针 联 点	相 邻 面 指 针	属 性

2.4 $SR(P, P)$ 、 $SR(L, L)$ 、 $SR(M, M)$ 及种子内点与面元素关系

点与点、线与线、面与面之间的关系可通过已建立的点、线、面拓扑关系文件导出。点通过所在线,线通过所在端点,面通过组成它的线可求出所有关系。面元素与种子内点是一一对应关系,任一种子内点与面元素的关系可通过奇偶检验法判断。

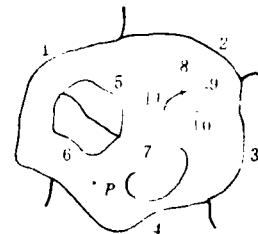


图2 索引文件的建立

3 图拓扑关系生成

子图拓扑关系的建立,为图生成拓扑关系奠定了基础。子图在记录点信息时,对落在接边线上的点自动标记,同时记录下相邻上、下、左、右子图号。

地图扫描数字化时,多边形易被子图分割成多个子多边形,子多边形弧段链中包含有实际不存在的接边线。多个子多边形并成一个多边形后,这些接边线应从弧段链中除去。在弧段接边算法中,采用最广的算法是最小距离法,即寻找距离最近点,取一中值作为匹配点。若简单地应用最小距离法进行拓扑关系并运算,显然不能解决复杂情况,存在多重判断问题。本文采用面目标匹配法进行子图拼接,即对子图进行并运算,产生图拓扑关系。

面目标匹配法基本思想在于:每根弧段均有左、右码,从左、右码可得知该弧段是否为接边线。若一多边形有 N 条接边线,分布在 M 个子图中,形成 Q 个多边形,这 Q 个多边形中有总和为 N 的接边线,且 N 条接边线端点匹配误差最小。

如图 3 所示。由大写英文字母标记子图 9 块,从 A 至 I 。其中有一多边形,被 9 块子图分割成 15 个子多边形。对于其中标记为 a 的子多边形来说,共有 3 条接边线,分别和 b 、 c 子多边形相邻。 b 和 c 子多边形共有 3 条接边线和 a 中接边线匹配。

具体并运算步骤如下:

(1) 从编号最小子图开始,依存贮顺序检索多边形拓扑关系文件,判断其是否包含有接边线。若无,则该多边形原样复制到图拓扑关系文件中去。如图 3 中多边形 z 。

(2) 若子多边形中包含有接边线,记录其条数,作为拼接完毕的检验判据之一。如图 3 中 a 多边形,其有 3 条接边线。以第一条接边线首端点为起点,根据前述子图信息文件定位信息,得出需接边子图号为 B 。遍历 B 图中所属多边形,计算接边线端点距离。若两端点匹配误差均为最小,即可确定该接边线,包含其的多边形即为接边多边形。与 a 接边子多边形为 b 。

(3) 从端点 1 出发,顺着多边形 b 方向顺序搜索得另一条接边线,其端点为 2。依规则可知,子多边形 c 为下一个接边子多边形。依此类推,直至最后一点为 1,则起点与终点重合,图多边形外包围线封闭。

(4) 在上述子多边形内搜索未作标记弧段。如图 3 中点 21 和点 22,这时以 21 和 22 点为端点的弧段链并不是接边线。可在 b 中匹配出一条弧段链,其两端点分别是 21 和 22,两条弧段链以一定方向相连,则为一个空洞。

(5) 若未标记弧段中有左右码相同,且有一端点为接边点的弧段,顺序搜索可得出相连弧段链,该弧段链构成一悬线。

(6) 在上述过程中,同时建立弧段文件、弧段索引文件和点文件。在一个图多边形内外边界接边完成后,该多边形记录也生成,多边形内点也可计算得出。这时组成图多边形的弧段除悬线外只有一个左右编码,另一个左右编码在另一个图多边形记录生成时才予记录。

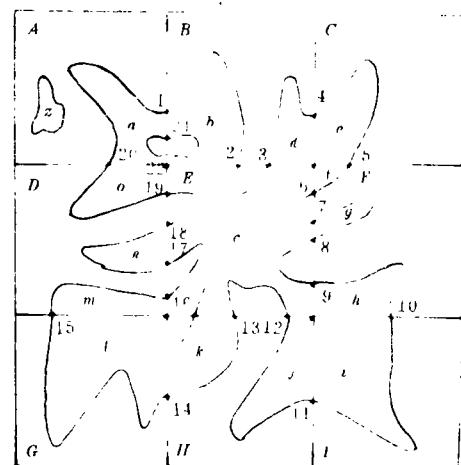


图 3 子图并运算

(7)重复(1)~(4)步骤,直至所有子图多边形均作过标记,从而建立起图拓扑关系。

图4为应用本文思想研制的CV2系统采集、拼接、绘制的一幅武汉市硚口区的城区图。

参 考 文 献

- 1 邓朝晖. CV2 系统优化设计及其在土地资源详查中的应用:[学位论文]. 武汉:武汉测绘科技大学,1993
- 2 徐庆荣. 用栅格充填法建立多边形文件. 武汉测绘科技大学学报,1989,14(1):42~46
- 3 白 玲. 空间数据的拓扑关系及其自动生成. 郑州测绘学院学报,1993,10(4):57~63
- 4 龚健雅. GIS 中矢量栅格一体化数据结构与面向目标数据模型的研究:[学位论文]. 武汉:武汉测绘科技大学,1993
- 5 Kufoniyi, Molenaar, Bouloucos. Topologic Editing of Vector Maps. ITC Journal, 1993(4):332~339
- 6 Molenaar. Single Valued Vector Maps—a Concept in GIS. Geo-Informations-System, 1989(2):18~26



图4 武汉市硚口区城区图

The Topologic Relationship of Map Based on Subgraph Operation and Its Auto-establishment

Deng Zhaozhi Lu Jian Lin Zongjian

(Dept. of Photogrammetry and Remote Sensing, WTUSM, 39 Luoyu Road, Wuhan, China, 430070)

Abstract At the background of digitation for map scanning, the elemental elements of map and the topologic relationship is discussed. And it also introduced the idea that the topologic relationship of subgraph is built before creating the topologic relationship of graph with the operation of union. In the mode of realization, the relationship of subgraph can be formed with seed filling, using raster data structure; in order to build graph relationship, adopting the idea of area object matching, we can sequently search and build it. At last, all have come into use in the form of automation.

Key words subgraph; topologic relationship; area object matching