环境遥感
第8卷 第3期 REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT Vol. 8, No. 3
1993年8月 CHINA Aug., 1993

# 从栅格数据直接建立拓扑关系的算法研究*

朱振兴
（中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室）

1992年6月29日收稿

**摘　要**

本文提出了从栅格数据直接建立拓扑关系的思想，用跟踪过程中容易获得的拓扑信息来优化拓扑生成的算法模型，借以提高拓扑生成的效率。本文还提出用连通性区域填充的方法处理各种任意复杂岛的思想。

**关键词** 弧段跟踪 拓扑生成 多边形 岛

## 一、引　言

地理信息系统（GIS）中地图的手扶跟踪数字化输入方式既繁琐费时又不精确，已成为建立 GIS 的一大“瓶颈”。因此对地图的扫描自动输入的研究已成为该领域的一大热点。其中如何把来自扫描的经过预处理、细化等一系列处理后得到的栅格数据，快速方便的转换成矢量式图形数据并建立起拓扑关系提供给 GIS 是一个关键问题[1)]。现有的各种拓扑生成算法，其思想基本上是一致的，一般都是对矢量数据建立拓扑关系，即以结点为纽带，首先建立结点与弧段的连接关系，然后通过结点和弧段连接关系表建立弧段邻接关系，最后由弧段邻接关系表确定组成多边形的弧段序列[2),[1]]。对于从细化后的栅格图上直接建拓扑关系则少有研究。本文将根据栅格数据的特点，直接从栅格数据出发建立多边形拓扑关系。这就为充分利用跟踪时可以获得的拓扑信息来提高拓扑生成的效率提供了可能。

## 二、算法设计

从细化后的线宽严格为1的二值栅格数据出发把跟踪与拓扑生成结合在一起，算法总体框图见图1。框图中的每一步又都由一个或几个子算法来实现，下面将分别阐述。为便于跟踪处理与结点弧段关系的获取，这里不妨把原栅格图像看成是一块“黑板”，将有关

* 本文是作者硕士学位论文的一部分，得到了何建邦教授的指导，谨致谢意。

1）朱振兴，地理信息系统中地图扫描输入系统研究与实现初步，中国科学院地理研究所硕士学位论文，1992年。
2）钟赛国等，地理信息系统中建立地图图形拓扑关系的优化算法，广西师范学院信息系统研究室，1992年。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

现场信息及标记直接写入“黑板”。为便于“黑板”管理，约定“0”，“1”仍为原图信息，对检测出的结点则用负整数标记，如“−1”，“−2”，…，对已跟踪处理过的弧段上的点则用大于“1”的正整数标记，如 2，3，…。这种标记的约定的好处在后文将会体现出来。跟踪时使用八连通约定。

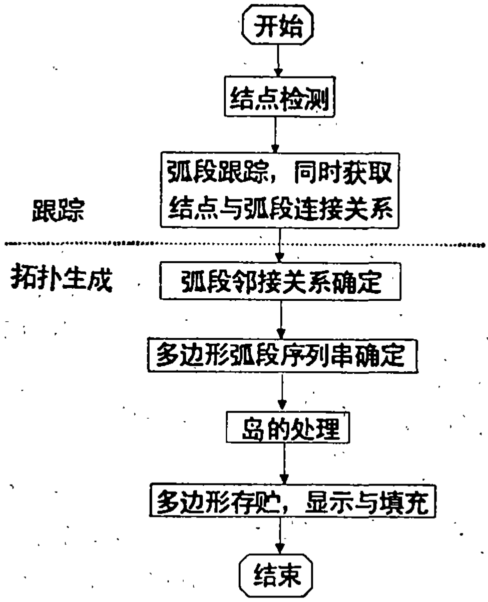


图 1　跟踪与拓扑生成算法框图

Fig. 1　The algorithm diagram of tracing and topological building

## 三、算法实现

### 1. 结点检测

结点指线划端点与交叉点。由细化得到的二值栅格图上 3 × 3 窗口中的各种交叉点均为四交叉点或三交叉点。四交叉只有两种形式，如图 2(a) 所示。三交叉共有 12 种情况，通过旋转归并为 3 种格局，如图 2(b) 所示，每种格局转 90°，180°，270° 便可得 12 种情况。另外，端点只有 8 种形式，归并为一种格局，如图 2(c) 所示，通过每次旋转 45° 便可得这 8 种形式。因此，在 3 × 3 窗口中以结点为中心的各种交叉组合及端点共有 22 种。此外，对于无交叉结点亦无端点结点的闭合单弧要做特别处理。对于闭合单弧，它的结点形式可取图 2(d) 所示的那两种形式，实际上它们是一种假结点。

确定结点形式后，就可对原图中线划上的每个点进行检测，找出所有的结点。为了提高运算效率，这里使用位域操作技术实现结点检测。找出结点后，要对结点进行标记，即在结点的位置上放置一个负整数代替原先的“1”值。标记的目的是为了表示该处是结点，并使结点与标记一一对应。

对闭合单弧的结点检测要在上述结点的弧段跟踪完成之后进行，以避免过早检测造

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

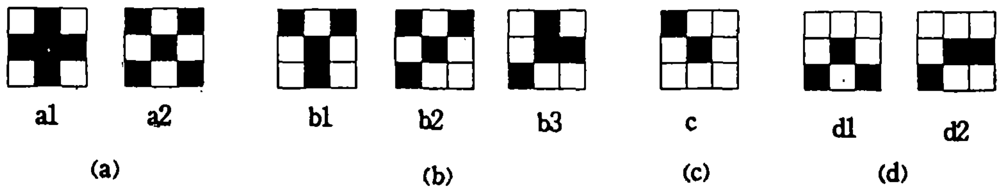


图 2 结点在其 3×3 邻域中的形式

Fig. 2 All froms of the node within its 3 × 3 neighbors

成原先结点之间增加那种假结点的可能性。

### 2. 弧段跟踪

弧段跟踪即是从某结点开始依次记录其下一邻点的方向信息，直到另一结点为止。对跟踪处理过的线划点要作标记，以防重复跟踪处理。这里可使用弧段号作为标记值，假设弧段号从 2 开始编号，由此，标记值即为 2,3,4,…，这些标记值区别于原图“0”或“1”值及结点标记（负整数）。对每个弧段的跟踪结果可用其始结点（fnode）与终结点（tnode）以及从始结点到终结点的方向数串表示。

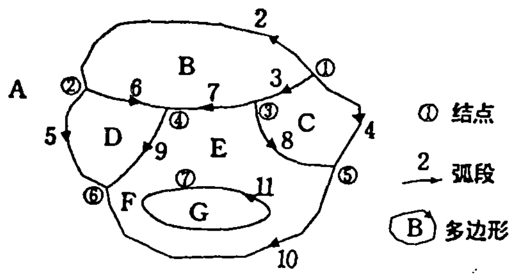


图 3 结点、弧段、多边形的空间关系

Fig. 3 The spatial relation of nodes, arcs and polygons

对于某个结点，在跟踪与其连接的每个弧段的同时，可以很方便地得到该结点与这些弧段的连接关系。某个结点的连接弧段数目可由其交叉数目（nums）或检测其 3 × 3 窗口邻域中“1”的个数得到。该结点上的所有连接弧段均以不同方向或角度交于此结点。以结点为中心，以其中的任一弧段开始，把这些弧段按其方位角逆时针顺序构成的序列，称为该结点上的连接弧段序列。对于所有结点，均找出其连接弧段序列，可建立结点的连接弧段序列表，图 3 各结点对应的连接弧段序列如表 1 所示。对于所有弧段，有了各弧段的始结点和终结点信息，即可建立弧段结点关系表，图 3 的弧段结点关系表如表 2 所示。

表 1 结点连接弧段关系表

Table 1 The relation of node-linking arcs

| 结点号 nodeno | 连接弧段序列 $\{S_i\}$ |
|---|---|
| 1 | 2,3,4 |
| 2 | −2,5,6 |
| 3 | 7,8,−3 |
| 4 | −6,9,−7 |
| 5 | −8,10,−4 |
| 6 | −5,−10,−9 |
| 7 | 11,−11 |

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

表 2　弧段结点关系表

Table 2　The relation of arcs and nodes

| 弧段号 arcno | 始结点号 fnode | 终结点号 tnode |
|---|---|---|
| 2 | 1 | 2 |
| 3 | 1 | 3 |
| 4 | 1 | 5 |
| 5 | 2 | 6 |
| 6 | 2 | 4 |
| 7 | 3 | 4 |
| 8 | 3 | 5 |
| 9 | 4 | 6 |
| 10 | 5 | 6 |
| 11 | 7 | 7 |

跟踪算法的步骤及对每个结点的处理步骤如下。

（1）对当前结点的 8 个邻域进行检测，可得连接弧段总数目及每个连接弧段的第一个方向数 $d_1$；

（2）依连接弧段第一个方向数 $d_1$ 从小到大的顺序，依次作为当前弧段进行跟踪处理；

（a）记录当前结点号作为当前弧段的始结点；

（b）将当前方向数所指的邻域作为当前点；

（c）如果当前点为大于 1 的正整数，则表明该弧段已作为前面处理过的结点的连接弧段被跟踪处理并标记过，当前结点是该弧段前次跟踪的终结点，现在不对其重复跟踪，仅取其标记值(等于弧段号)的相反数作为当前结点的一个连接弧段号，记入当前结点的连接弧段序列中的相应位置，然后转（2）；

（d）如果当前点值等于1，则表明当前跟踪弧段尚未被跟踪处理过，保存当前的方向数值，把当前点用当前弧段号作标记，把下一邻点作为当前处理点，转 $d$ 继续当前弧段的跟踪并标记，直到碰到当前弧段的终结点；

（e）如果当前点值是负整数，则表明当前跟踪的弧段已到了其终结点，记录结点号作为当前弧段的终结点号值，记录当前弧段号到当前结点的连接弧段序列中的相应位置，结束当前弧段处理，转（2）继续处理，直到当前结点的所有连接弧段均已被跟踪处理。

在完成对上述所有结点的连接弧段跟踪处理并标记之后，再进行闭合单弧的结点检测，跟踪并标记，同时记录其结点连接序列和弧段始结点和终结点。这时的结点连接弧段序列为 $\{S, -S\}$，其中 $S$ 表示当前单弧，如表 1 中的结点 7，其连接弧段序列为 $\{11, -11\}$。这时的弧段始结点和终结点是同一结点，如表 2 中弧段 11，其始结点为 7，终结点也是 7。

至此，对于弧段的跟踪处理已经全部完成，同时也获得了重建多边形拓扑关系的必要信息，即结点连接弧段关系表和弧段结点关系表，从而使后面的拓扑生成可以脱离实际图形，并可直接利用这些关系表格进行运算，整个过程十分简便。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki

### 3. 弧段邻接关系的确定

对于一弧段 $S$，设其左多边形为 $P_1$，右多边形为 $P_2$，确定弧段邻接关系的方法是，在其始结点的连接弧段序列中找出 $P_1$ 与其它多边形的公共边界弧段 farc，称其为弧段 $S$ 始结点上的邻接弧段。在终结点的连接弧段序列中找出 $P_2$ 与其它多边形的公共边界弧段 tarc，称其为弧段 $S$ 在其终结点上的邻接弧段，如图 4 所示。

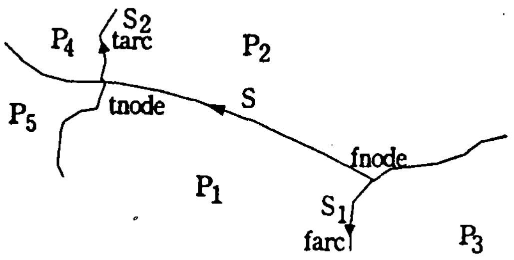


图 4 弧段 $S$ 的邻接弧段

Fig. 4 The adjacent arc of $S$

利用前面跟踪时所获得的结点弧段连接关系表和弧段结点关系表，可以很快地找出所有弧段的邻接弧段。下面详细介绍求 farc 与 tarc 的方法。

不妨假设弧段 $S$ 始结点上的邻接弧段 farc 的始结点即为 $S$ 的始结点(若 $S$ 的始结点是 farc 的终结点，则在 fnode 的连接弧段序列中 farc 已经是负整数)，同样可以假设弧段 $S$ 终结点上的邻接弧段 tarc 的始结点为弧段 $S$ 的终结点。求弧段 $S$ 始结点上邻接弧段 farc 的步骤及说明如下：

(1) 在弧段结点表中找到弧段 $S$ 的始结点；

(2) 在结点弧段连接关系表中找到 fnode 的连接弧段序列 $\{S_{fnode}\}$；

(3) 在连接弧段序列 $\{S_{fnode}\}$ 中必然存在 $\{\cdots,S,\text{farc},\cdots\}$ 的情形，即紧跟着 $S$ 的下一个弧段必为所求的 farc。如果 $S$ 是 $\{S_{fnode}\}$ 中的最后一个弧段，则 farc 就是 $\{S_{fnode}\}$ 中的第一个弧段。

**表 3 弧段邻接关系表**

**Table 3 The adjacent relation of arcs**

| 弧段号 arcno | 始结点邻接弧段 farc | 终结点邻接弧段 tarc |
|---|---|---|
| 2 | 3 | 5 |
| 3 | 4 | 7 |
| 4 | 2 | −8 |
| 5 | 6 | −10 |
| 6 | −2 | 9 |
| 7 | 8 | −6 |
| 9 | −3 | 10 |
| 9 | −7 | −5 |
| 10 | −4 | −9 |
| 11 | −11 | 11 |

求弧段 $S$ 终结点上的邻接弧段 tarc 的步骤类似于求 farc 的步骤，但在第(3)步中

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

情形。

对弧段结点关系表扫描一次，即可求出每个弧段的始结点邻接弧段 farc 和终结点邻接弧段 tarc，由此建立起弧段邻接关系表。整个表的建立只须对前面的两个表扫描一次即可完成，效率很高。以图 3 为例，各弧段的邻接关系表如表 3 所示。

## 4. 多边形组成弧段序列的寻找

建立多边拓扑关系，就是要对每个多边形按一定方向顺序找出其组成弧段序列。序列方向可以规定为顺时针方向。如果一个多边形以弧段 $S_i$ 为起始弧段，从前面的分析可以知道，在弧段邻接关系表中，farc 和 tarc 两列值 farc($i$) 和 tarc($i$) 分别为 $S_i$ 相应于左侧多边形 $P_L$ 与右侧多边形 $P_R$ 的邻接弧段。则确定右侧多边形（顺时针方向）组成弧段序列的步骤为：

（1）将当前多边形组成弧段序列置为空，将 $S_i$ 作为当前多边形的当前处理弧段 $S$；

（2）将 $S$ 加到当前多边形组成弧段序列的尾端；

（3）若 $S>0$，则表明 $S$ 的方向与多边形方向一致，这时取 $S$ 的终结点邻接弧段 tarc（$S$）作为当前弧段 $S$，转（5）；

（4）若 $S<0$，则表明 $S$ 的方向与多边形方向相反，这时取 $S$ 始结点上邻接弧段 farc（$-S$）作为当前弧段 $S$；

（5）若当前处理弧段 $S$ 等于 $S_i$，则结束该多边组成弧段的寻找，否则转步骤(2)继续寻找。

同理可以确定弧段 $S_i$ 左侧多边形组成弧段的序列，只要在上述步骤的第(1)步中将 $-S_i$ 作为当前弧段 $S$，而把第(5)步中的结束条件改为 $S$ 等于 $-S_i$ 即可。

例如，对图 3 中由弧段 2 开始找其右多边形 $A$ 的步骤如下：

① 多边形 $A$ 的组成弧段序列为空，记为 $A=\{\ \}$，当前弧段 $S=2$；

② $A=\{2\}$；

③ 因 $S=2>0$ 取 $\mathrm{tarc}(2)=5$，$S=5$；

④ $A=\{2,5\}$；

⑤ $S=5>0$，取 $\mathrm{tarc}(5)=-10$，$S=-10$；

⑥ $A=\{2,5,-10\}$；

⑦ $S=-10<0$，取 $\mathrm{farc}(10)=-4$，$S=-4$；

⑧ $A=\{2,5,-10,-4\}$；

⑨ $S=-4<0$，取 $\mathrm{farc}(4)=2$，$S=2$；

⑩ 因 $S=2$ 与起始弧段相同，故结束 $A$ 的组成弧段寻找。

扫描弧段邻接关系表，对表中的每个弧段都可找出其左侧多边形和右侧多边形，这样所有的多边形都会被找到，不会遗漏。但是这样得到的多边形必将产生很多重复，因为一个由多条弧段组成的多边形可由其中任一组成弧段开始找出，所不同的仅是其弧段组成序列中的第一个弧段是从哪一个弧段开始，而序列顺序则相同。这可以由下述方法解决：

由于每个弧段只被两个多边形（左多边形与右多边形）所共享，它在左、右多边形组成

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki

弧段序列中的方向是相反的。如弧段 $S$ 只在两个多边形中出现，若其在左多边形组成弧段序列中为 $S$，则其在右多边形就为 $-S$，并且以后不再出现在其它多边形中。根据这个原理，在算法中设计两个标记数组，分别对在多边形组成弧段中已使用过的弧段 $S_i$ 与 $-S_i$ 作已使用过的标记，以后若碰到这些已标记的 $S_i$ 或 $-S_i$，就不再从这些弧段开始做多边形组成弧段的寻找。经过改进后的算法，只须对弧段邻接关系表扫描一次即可找出所有多边形组成弧段，既不重复也不遗漏，提高了算法的效率。

以图 3 为例，各多边形组成弧段的序列如表 4。

表 4 多边形组成弧段序列表

Table 4 The sequence of arcs forming polygoms

| 多边形号 plogno | 多边形组成弧段序列 |
|---|---|
| 1($A$) | 2,5,−10,−4 |
| 2($B$) | −2,3,7,−6 |
| 3($C$) | −3,4,−8 |
| 4($D$) | −5,6,9 |
| 5($E$) | −7,8,10,−9 |
| 6($F$) | 11 |
| 7($G$) | −11 |

## 5. 岛的处理

按上述各步骤所找出的多边形组成弧段及其序列并不是真正的多边形，严格地说只是代表由这些弧段按一定方向所确定的一个有界区域，称为准多边形。以图 3 为例，它产生了 7 个“多边形”，实际上只有 $A,B,C,D$ 和 $G$ 是真正多边形(其中多边形 $A$ 可视作是外轮廓与图幅之间的一个特殊多边形)，而 $E,F$ 则是准多边形。准多边形 $E$ 包含了多边形 $G$ 的区域，它忽视了 $G$ 作为岛在其内部存在的事实。同样，准多边形 $F$ 包含了 $A,B,C$ 和 $D$ 等区域。这是由于对孤立的岛，它无法与其它弧段建立连接关系，也就无法被包含它的多边形所感知。事实上应把上述两个准多边形 $E$ 和 $F$ 的组成弧段序列合并成为一个新多边形，其组成弧段序列为 {−7,8,10,−9,11}，这个新多边形将不再包含其它有界区域而成为真正的多边形。下面讨论岛的处理方法。

岛的处理往往很繁琐，要判断一个多边形是否为另一多边形的岛，一般需判断该多边形的每个结点均在另一多边形内部。岛中套岛和多个岛并列的情况就更复杂了，因此传统的对岛的处理效率难以提高。

人眼能识别非常复杂的各种岛。例如在图 3 中，人一眼就能看出准多边形 $F$ 是准多边形 $E$ 的内部岛(多边形 $G$ 是岛本身的实体)，应把 $E$ 和 $F$ 合并成新多边形。这是由于人眼能够发现 $E$ 与 $F$ 的区域有连通的公共部分。基于这样的认识，可以通过对准多边形找连通的公共部分的方法实现岛的处理。对于各种岛，不管有多复杂，只要找到与其有连通的公共部分的准多边形就进行归并。运用这种寻找连通性公共区域的方法，可以把十分繁琐的岛的处理转化为容易实现的连通性区域填充的问题。上述思想可由下列步骤来实现：第一步，对每个准多边形找出其内部标识点；第二步，对每个准多边形，若该准多边形

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki

内部标识点所在区域未被填充过，则从该内部标识点开始用该准多边形号实施连通性区域填充；否则若该准多边形内部标识点所在区域已被填充，则表明该准多边形与另一填充该区域的准多边形有连通的公共区域，把这两个准多边形进行归并；第三步，若所有准多边形均被填充或归并处理，则结束，否则转第二步。

下面简要介绍准多边形内部标识点的确定方法、准多边形的连通性区域填充方法和两个准多边形归并的方法。

(1) 准多边形内部标识点的确定

从理论上讲属于准多边形内部的任意点都可以作为其内部标识点(简称为内点)，但实际计算时，为方便计算并确保所找点属于其内部，最方便的是找紧挨着准多边形边界弧段始结点的内侧点作为其内点。

(2) 准多边形内部区域的连通性填充

在二值栅格图像上，已知某准多边形号及其内点位置坐标，从该内点位置出发，用该准多边形号作为填充值对该准多边形实施连通性区域填充是比较容易的。以图 5 为例，对这种包含有岛的非凸性准多边形区域的填充，需要设计一个栈，用来存放填充内点坐标信息及其填充方向信息。填充时首先把该准多边形内点与向上填充信息进栈，然后先开始向下填充。在遇到边界极大值或极小值点时，将属于该连通区域内部但位于极值点水平方向上另一侧的最接近该极值点的像元（如图 5 中的 $A$, $B$ 等）的坐标信息进栈，同时进栈的还包括该像元点区域的填充方向，如 $A$ 点向上填充，$B$ 点向下填充。在填充到了区域底部或顶部之后，再从栈顶取下一个内点坐标信息及填充方向信息，继续填充，直到栈空为止。

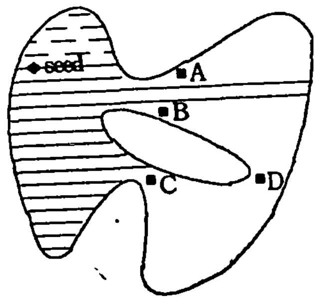


图 5　某含岛的准多边形连通性填充示意图

Fig. 5　The connection filling of a Semi-polygon including islands

在上述的填充处理中可以看出，对带有岛的准多边形，将不会对岛的内部进行填充，这也正是通过这种连通性填充获取原二值栅格图上关于岛的信息的目的所在。只有这样才能弥补跟踪时不能获得的这部分关于岛的拓扑信息，实现对岛的拓扑重建。

(3) 准多边形的合并

准多边形的归并操作比较简单，只要把其中一个准多边形的组成弧段序列添加到另一准多边形组成弧段序列的尾端，并保存这两个准多边形组成弧段的总数目即可。

## 四、结　　论

本文提出的跟踪并建立拓扑关系的算法，可以直接利用栅格图像建立拓扑关系。①跟踪过程中充分利用二值栅格数据的特点，在获取矢量式坐标数据的同时，方便地获得了拓扑信息，建立起结点和弧段之间的关系，使得多边形拓扑重建可脱离实际图形进行；②使用高效的查表技术，对弧段结点关系表扫描一次即可建立弧段邻接关系表，效率很高；

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki

③ 在弧段邻接关系表的基础上，建立高效的寻找多边形组成弧段序列的算法模型，并对其进行优化，使得多边形组成弧段序列的寻找只须对弧段邻接关系表扫描一次即可完成，避免了多次重复查找，并使所找多边形既不重复也不遗漏，提高了多边形拓扑生成的效率；④ 利用栅格数据的特性，运用寻找连通公共区域的方法，把十分复杂的岛的处理转化为容易实现的连通性区域填充的问题，实现了对任意复杂岛的统一处理。把跟踪与拓扑生成联系在一起，可充分利用跟踪时所获得的拓扑信息，方便快速地实现拓扑重建。

## 参 考 文 献

[1] 周心铁，地理信息系统中由线段数字化记录重建多边形的方法，环境遥感，3(1)，1988。

# Algorithm Research and Implementation of Building Topological Relation Directly from Raster Data for GIS

Zhu Zhenxing

*(Lab. REIS. Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences)*

## Abstract

Manually digitizing maps for GIS is tedious, time consuming and imprecise. It has been a "bottleneck" in building GIS database. A new algorithm of combining the tracing and topological building to build the topological relationship directly from thinned raster data is proposed in the paper. It makes use of the topological information that can be easily obtained in the processing of tracing to optimize the algorithm model of topological building, so the efficiency will be greatly improved. Lastly, a new thought of using the connected area fill method to deal with the complex island polygon is also presented in the paper.

**Key words** Tracing Topological building Polygon Island

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki