

地图图形结构分析与概括研究^{*}

张青年

(中山大学城市与资源规划系, 广东 广州 510275)

摘要: 地图图形往往具有一定程度的空间结构特征, 例如树枝状水系、棋盘状街道网等。这些空间结构特征深刻反映了地理现象的特点和规律, 是地图图形概括过程中需要突出表现的内容。然而, 地理数据库中并没有直接存储图形结构信息, 而是隐含地表示于几何图形要素的空间关系之中。这就要求在地图概括处理之前进行图形结构分析。分析了地图图形结构模式及其识别过程, 并且探讨了图形结构的概括方法。

关键词: 地图图形结构; 模式识别; 地图概括

中图分类号: P283.7 文献标识码: A 文章编号: 0529-6579 (2002) 01-0087-04

地图图形往往具有一定程度的空间结构特征, 它反映了地理现象的空间分布格局或趋势, 例如森林分布的集中与分散趋势, 道路在空间分布上相互交织形成的网络结构。显然, 地图图形反映的空间结构有利于人们对地图图面上地理现象的总体把握。特别是在比例尺相对较小的地图上, 更需要进行合理的地图概括以反映空间结构特征^[1]。不过, 地理数据库中通常没有直接存储各种空间结构实体的信息, 而是隐含于几何图形的空间关系之中。因此, 首先要进行空间结构分析, 识别各个空间结构实体, 然后对各个图形结构单元进行概括处理。

1 地图图形结构模式

地图图形结构实质上是地理现象空间分布特点的反映。空间分布通常被划分为点状分布、线状分布、离散面状分布、连续面状分布四种类型。地理现象的空间分布往往具有一定的规律, 表现在地图图面上就形成一定的结构模式, 例如斑块结构、波状结构。这里主要讨论各种离散分布地理现象的结构模式。其中, 点要素的离散分布研究较多, 一般可以区分为随机型分布、集群型分布和均匀型分布。均匀型的分布, 每个点与其它各个最邻近点的距离大致相等。均匀型分布的典型结构模式是规则格网结构, 例如棋盘格状或者正六边形结构。集群型的分布, 则有一组或一组以上的点群, 每个点与其最邻近各点的距离很小, 而另外的很大区域上则没有点。集群型分布的典型结构模式是斑块状结

构, 例如我国北方农村居民地多呈团块状分布。随机型分布, 其中有些点比较集中, 有些点比较分散。可以认为随机型分布是一种无结构模式, 例如我国南方农村居民地的分散分布。

类似地, 离散面状分布也可以区分为随机型分布、集群型分布和均匀型分布。相应地形成斑块状、棋盘状等结构模式。其中斑块状结构最为常见, 又可以根据其形态进一步区分为团块状结构、阵列状结构和散列式结构等。例如, 北京市的街区具有明显的棋盘格状特点。线状分布原则上也可区分为随机型、集群型和均匀型。但由于线状要素具有延展性, 这种区分并没有多大意义。我们根据线状分布的形态结构特点, 区分出一些常见的结构模式, 例如孤立型分布、成组型分布、树状分布(例如河系树等)、网络型分布(例如道路网)和嵌套型分布(例如等值线)。其中树状分布不存在回路, 网络型分布则有回路。例如, 水系是典型的树状结构, 可进一步区分为树枝状、向心状、离心状、羽状、格状等; 道路通常为网络型分布, 又可以进一步细分为放射状、棋盘格状、不规则状等。

2 地图图形结构识别

在地理数据库中, 地理现象被编码为地理数据, 各种地理现象通常是用点、线、面等基本要素来表示的。树枝状水系、阵列状居民小区等空间结构单元并没有作为图形实体直接存储在地理数据库中, 而是通过基本几何要素的空间关系隐含地表示

^{*} 收稿日期: 2001-03-01;

基金项目: 国家自然科学基金资助(40101024)

作者简介: 张青年(1968—), 男, 讲师, 博士; E-mail: zhangstudio@sohu.com.

出来。但许多 GIS 应用中, 涉及到对地理实体或更复杂的空间结构单元进行操作, 这就需要识别数据库中隐含的地理实体及其空间结构, 并将其显式地表示出来。

借鉴视觉认知中的模式匹配观点, 我们将地理数据库中地理实体/空间结构单元的识别也理解为一个模式匹配过程^[3]。在人的视觉认知过程中, 感知到的环境刺激形成视觉影像 (retinal image), 经过与记忆库中的模型匹配, 进而识别感知到的物体。类似地, 在 GIS 环境下的地理实体识别过程中, 存在地理现实、数字模型、理论模型三个对象。其中, 数字模型是对地理现实数字化编码的结果, 理论模型是从地理现实抽象而来的简化模型。地理实体及空间结构单元的识别实际上是数字模型与理论模型匹配的过程, 见图 1。如果匹配成功, 就从地理数据库中识别出相应的地理实体或者空间结构单元。例如, 从点状分布的居民地数据库中, 识别出团聚状分布单元、散列式分布单元等。在 GIS 环境下, 通常经过分析、编码和识别三个阶段识别出图形结构实体, 见图 1。其中编码阶段将地理现实转化为数字模型, 分析阶段将地理现实抽象为理论模型, 识别阶段则是一个匹配过程。

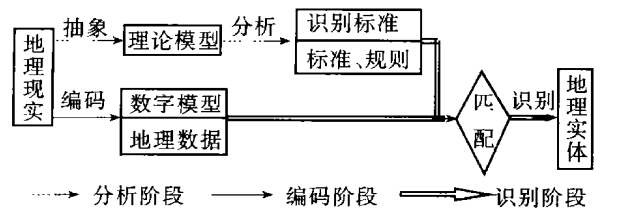


图 1 地理实体识别框架

Fig. 1 A framework for geographical entity identification

在分析阶段, 通过对地理现象的抽象, 形成地理现象的理论模型, 或者称为理论地理实体。这种理论地理实体是地理现象的抽象, 是一种理想化的地理模型。例如, 将水系抽象化为树枝状、羽毛状、梳状、向心状、离心状等各种形态的理论地理实体。显然, 理论地理实体是地理现象主要特点的描述, 不反映地理现象的所有细节。例如, 梳状水系的大部分支流都位于主流的一侧, 但也有少量支流出现在主流另一侧。通过对理论地理实体的分析, 可以进一步确定其具体的识别标准, 例如分布与排列的方向、间距等。

识别阶段是将地理实体的识别标准及知识规则与数字模型匹配, 在匹配成功的情况下识别出相应

的地理实体。这个识别过程可能由人工完成, 也可以编制程序代码由计算机自动完成并辅以必要的后处理。应该指出, 不同地理学家对同一地理现象的理解不尽相同, 因此可能形成不同的理论模型和识别标准。在不同的识别标准和知识规则引导之下, 同样的地理数据可能被识别为不同的地理实体。

在地图图形结构实体识别过程中, 实际上不是直接比较数字模型与理论模型, 而是与知识规则进行比较。也就是将理论模型描述为参数模型。例如, 对于岛链模型, 应该确定岛屿面积的相似度、排列间距的相似度、排列方向的相似度等准则。根据这些准则, 将数据库中符合这些标准的图斑串识别为岛链。

3 地图图形结构概括

空间结构是反映地理规律性的重要内容, 因此必须重视对地图图形结构的概括。点状、线状、面状地理现象具有不同的空间结构特征, 其结构识别与概括方法也有明显差异。这里简要探讨点群、面群、树状分布、网状分布概括的基本方法。

3.1 点群与面群概括

点群概括是将每个点群作为一个整体来考虑, 识别点群的分布范围与内部结构, 并在概括后的地图上保持点群的原有分布范围及内部结构特点。点群概括包括点群分布范围、内部结构的概括。点群有团块状、星形、不规则形等不同形态, 应根据其具体特点采用相应方法确定其分布范围, 通常可以在建立点群凸壳的基础上再作调整而得到其边界多边形。点群内部点的取舍要考虑其内部结构线, 包括星形、同心环状、平行条带状结构线。我们提出了在构造最小支撑树 (MST)^[3] 基础上概括结构线的方法。由于结构线上点的间距较小, 因此它们能被分割到同一棵子树上, 见图 2。通过稀疏化处理, 实现了结构线上点的取舍。

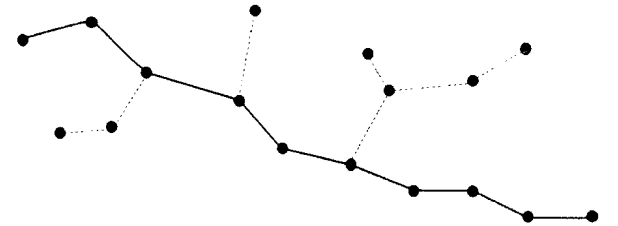


图 2 MST 与结构线

Fig. 2 MST and structural line

面群概括与点群类似, 包括面群边界线概括和

面群内部结构概括, 只是需要考虑图斑面积的影响。具体的说, 就是面群的新边界图斑面积必须大于阈值, 面群内部规则结构单元应该由面积相似的图斑构成。

3.2 树状分布与网状分布概括

河流、谷地线、山脊线等地理现象通常呈树状分布。树状分布概括应反映其空间密度差异、树状结构主干, 以及局部结构模式特点。前两方面的探讨较多, 空间密度差异通过分区概括来控制, 树状结构主干骨架线选取通过河流等级体系分析等方法来确定。但局部结构模式变化复杂, 概括研究较少。

在特定条件下, 树状分布可形成一些特殊的结构模式, 即特化的树状结构, 例如平行状、格状、羽毛状、梳状、向心状等结构模式。这些结构模式都是特定的地质构造、岩性、地形环境条件的产物, 具有特定的地理指示意义。其概括处理的基础是结构模式的参数描述。例如, 将梳状水系描述为支流分布的偏侧性。据此可识别梳状水系等图形结构实体, 在概括时给予这些结构实体的成员分支较高的权重, 将有利于保持其特点。

网状分布最常见的是道路网。其概括研究通常考虑道路等级、网络连通性等方面。这里只考虑道路网图形结构的保持。街道网、公路网有时表现出非常突出的结构模式, 因此应该反映在概括后的图面上。道路网有矩形、放射状、不规则形和混合型。例如, 在成都平原上, 高级道路以灌县为中心呈扇形向外辐射; 在平行岭谷地区, 主要道路沿谷地穿行, 次要道路翻越山岭, 多交织成四边形网状。

道路网图形结构通常是由两组线状要素交织而成。例如, 矩形道路网的构成要素是两组相互垂直的街道; 放射状道路网是由发散于中心点的一组放射状道路及围绕中心点的另一组环状道路构成。根据这些特点, 可以识别道路网中的各种图形结构要素。在此基础上, 按一定规律选取这些图形结构要素, 将有利于保持道路网的平面图形特点。例如, 对于呈放射状的道路网, 除选取发散于一点的放射状道路外, 还应选取围绕发散点的另一组环状道路, 共同构成梯形道路网。

3.3 数学形态学在图形结构概括中的应用

下面以数学形态学方法为例, 探讨图形结构识别与概括的具体方法。数学形态学是一种处理非线性

性数字图像的新理论与新方法, 其基本运算是膨胀、腐蚀、断开、闭合等算子^[4]。数学形态学能够有效处理面状规则结构单元的识别与概括等复杂问题^[5]。

3.3.1 面状规则结构单元的识别 本文将地物群内部面积相似、间距相似、排列方向一致的一组图斑称为规则结构单元, 通常呈条带状或阵列状排列。其识别方法是: 首先对地图图面进行剖分, 以便确定图斑之间的邻接关系; 再识别由面积相似、间距相似、排列方向一致的三个相邻图斑构成的规则结构单元片段, 将它作为规则结构单元的生成元; 然后对规则结构单元片段沿轴向进行合并与延展, 识别条带状规则结构单元; 最后识别由相互平行的条带状规则结构单元构成的阵列状规则结构单元, 见图3。

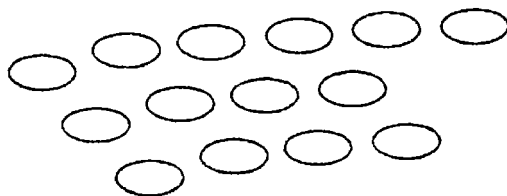


图3 阵列状图斑示例

Fig.3 An example of patch matrix

这里的关键问题是识别相邻图斑。设地物群图像为 Y 。求图像的补集 Y^c , 再求补集的骨架 $SK(Y^c)$

$$SK(Y^c) = Y^c \ominus \{L_i\}$$

得到 Voronoi 图, 构成多边形网, 将地物群图像划分为若干个 V -多边形区域, 每个图斑 P_i 被一个 V -多边形区域 V_i 所包围, $V_i = P_i \oplus B; SK(Y^c)$ 。

若两个 V -多边形 V_i 和 V_j 满足关系 $(V_i \oplus B) \cap (V_j \oplus B) \neq \emptyset$, V_i 中包含图斑 $P_i = V_i \cap Y$, V_j 中包含图斑 $P_j = V_j \cap Y$, 则图斑 P_i 与 P_j 相邻。

3.3.2 面状规则结构单元的概括 规则结构单元的图斑及其排列规则有序, 是地图图面上的鲜明特征, 应尽可能表现在概括后的地图上。规则结构单元概括的基本原则是保持其分布和排列的间距与方向的规则性以及空间范围不变。当规则结构单元过于紧密或图斑过小, 低于图上最小可分辨距离、最小表示面积等标准时, 必须作为一个整体进行取舍、合并、移位、夸大等概括处理, 尽量保持其原有范围、结构。常见的做法是每隔 1~2 个图斑舍去一个图斑, 逐个拉大图斑之间的距离, 或者图斑

局部移位。

局部移位由多个运算步骤实现。设 M 为某个规则结构单元, 从规则结构单元端点的图斑 A 开始, 依次进行下述移位处理:

先对图斑 A 膨胀, $A' = A \oplus B_k$, B_k 为半径为 D_s 的结构元。

再求交集, $F = A' \cap M$ 。

再求差集, $A'' = A' - F$ 。

最后作腐蚀运算, $A''' = A'' \ominus B_k$ 。 A 被 A''' 所替代, 于是图斑之间距离拉大, 见图 4。

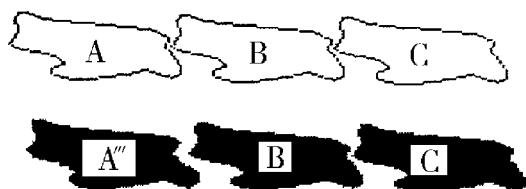


图 4 图斑 A 局部移位

Fig 4 Partial displacement of patch A

参考文献:

- [1] 母河海. 地图信息自动综合基本问题研究[J]. 武汉测绘科技大学学报, 2000, 25(5): 377—386
- [2] BOFFET A. A Framework for automated spatial analysis based on spatialization principles[EB/OL]. <http://www.geo.unizh.ch/ICA/ Documents/Workshop99/papers.html>, 1999.
- [3] REGNAULD N. Recognition of building cluster for generalization//Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Data Handling[C]. 1996, 185—198.
- [4] SU B, LI Z, LODWICK G, et al. Algebraic models for the aggregation of area features based upon morphological operators[J]. Int J Geographical Information Science, 1997, 11(3): 233—246.
- [5] 张青年, 秦建新. 面状分布地物群识别与概括的数学形态学方法[J]. 地理研究, 2000, 19(3): 93—100.

Identification and Generalization of Spatial Structures on Map

ZHANG Qing nian

(Department of Urban and Resource Planning, Sun Yat sen (Zhongshan) University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: There are many structural units on maps, such as dendriform drainage and orthogonal streets. Structural patterns reflect the characteristics of geographical phenomena, thus should be represented on map. However, geo-databases usually do not represent structural entities directly. Instead, they are implied by spatial relationship between elementary geometric entities. In many GIS applications, one needs to generalize elementary graphic features so as to derive scale-reduced data set. In such cases, it is necessary to identify the implied spatial structure, so as to represent the implied spatial structure in generalized data sets. Otherwise the spatial structure may be distorted. The classification and identification of structural patterns of spatial distribution were discussed, and the map generalization method based on structure analysis was explored.

Key words: spatial structure; pattern identification; map generalization