

线状要素的动态分段与制图综合^{*}

张青年

(中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510275)

摘要: 线状要素通常以弧段—结点模型表示和存储在地理信息系统中, 不能完整有效地描述真实世界。动态分段则不同, 它将线状要素作为一个整体进行描述, 以事件表描述各种现象沿着线状要素的动态变化, 是一种更复杂、更灵活的数据模型。以动态分段模型为基础, 针对河流和道路网络, 提出了将弧段形式的线状要素组织为路径系统的方法, 并分析各个完整线状实体在网络结构中的相对重要性。以完整线状实体为单元, 着眼于网络结构进行制图综合, 从而更好地保持网络的总体结构。最后对上述方法进行了简单的试验分析。

关键词: 线状要素; 动态分段; 制图综合

中图分类号: P283.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579(2004)02-0104-04

在地理信息系统中, 线状要素通常是以弧段—结点模型表示的, 以弧段为基本单位进行存储和管理的。这种静态分段的方法依据属性差异或拓扑关系将一个线状特征分割成多个相互独立的弧段分别存储。静态分段方法不利于对线状要素作为一个整体进行操作, 也难以描述地理现象沿线状要素的变化, 例如河水污染程度沿着河流向下游的变化情况。动态分段则是一种更复杂、更灵活的数据模型, 它将线状要素作为一个整体进行描述, 而且还能表示各种属性(例如车流量)沿着线状要素的动态变化。动态分段技术不仅有利于更好地描述地理现实, 同时也为线状要素制图综合提供了新的手段。

1 线状要素的动态分段模型

动态分段(Dynamic Segmentation)的思想是由美国威斯康星交通厅戴维·弗莱特先生于1987年首先提出的。与弧段—结点模型的静态分段不同, 动态分段方法不是在线状要素沿线上某种属性发生变化的地方进行物理分段, 而是将属性的沿程变化存储为独立的属性表(事件属性表), 在显示和分析过程中直接依据事件属性表中的距离值对线状要素进行动态逻辑分段。目前, 一些重要的GIS软件都提供了支持动态分段的数据模型, 包括: ARC/INFO、ArcView、TransCAD、MGE等。

1.1 弧段—结点数据模型

弧段—结点模型是表示线状特征的一种常用方

法。在该模型中, 线状特征由弧段表示。道路、河流、管道等线状特征往往被分割成多个弧段。弧段由构成一条线的一串坐标点组成, 弧段的两个端点称为结点。在ARC/INFO中, 弧段信息存储在两个文件中。所有坐标信息存储在一个特殊的ARC文件中, 用户不需要存储该文件, 系统会自动维护该文件。所有属性信息存储在AAT(弧段属性表)文件中, 用户可以存取弧段属性表中的信息。与线特征相关联的任何信息都可以随描述该线特征的弧段存储在弧段属性表中。

这种弧段—结点模型是一种静态分段技术, 有一些明显缺陷: ①不是基于完整线状特征的模型, 难以直接对线状特征进行整体性操作, 对线状特征的整体操作必须检索所有相关弧段。②难以表达地理现象沿线状特征的变化, 例如一条道路沿线各个路段路面质量的差异。

1.2 动态分段数据模型

动态分段实质上是建立在弧段—结点数据结构上的一种抽象方法, 使用弧段(arc)、段(section)、路径(route)、事件(event)等实体, 建立动态段与弧段—结点模型的映射关系。在动态分段的基础上, 可以进行一些特有的显示和分析, 例如对多个弧段联结成的路径用连续的符号表示, 用事件数据执行line-on-line和point-on-line叠加操作。

动态分段模型使用路径实体将道路等线状特征作为整体进行描述, 使用事件描述线状要素各种属性的沿程变化或者各种现象在线状要素沿线的分

* 收稿日期: 2003-05-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40101024)

作者简介: 张青年(1968年生), 男, 博士, 副教授, E-mail: zhangstudio@sohu.com

布。路径是一个定义有属性的线状特征，例如道路有等级、宽度、路面铺装等属性。路径由段组成的，而段对应着一个弧段或者弧段的一部分，即段的起止点不一定与弧段的起止点正好一致（图 1）。事件是描述某一段路径的属性数据，例如河流沿线河水污染物含量的沿程变化、公路沿线交通事故发生地点的分布等。事件是以距离该路径起点的里程等度量值来定位的。实际上，事件存储在 INFO 数据文件中或者其他受支持的关系数据库管理系统中，它不是 ARC/INFO coverage 数据模型的一部分。通常，描述整个路径的属性存储在路径属性表（RAT）中，描述路径的各个部分的属性存储在事件表中。

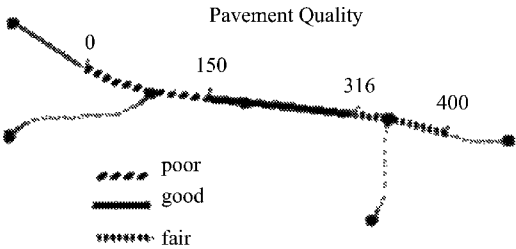


图 1 道路网中的路径
Fig. 1 Route and road system

动态分段模型首先要建立完整的路径系统，其次是建立关联到路径上的事件表。在此基础上，可进行动态分段的 3 种操作：联结、分段、显示与分析。联结是指将事件与路径联系起来；分段指在分析和查询时将事件描述成点状或者线状分布目标的过程；与事件对应的动态段可参加 line-on-line 和 point-on-line 等空间分析。使用动态分段技术，可以将多组属性数据关联到一个线状特征的任何部位，可以存储、显示、查询和分析这些属性却不影响其关联的线状特征的 xy 坐标。

2 基于动态分段的线状要素制图综合

数据库中较常见的线状要素有河流、道路、管网等，本节基于动态分段探讨河流、道路的制图综合方法。

2.1 基于动态分段的河系综合

河流之间的交汇在平面上构成一种树状结构，河流综合的关键是主干河流的选取。河流等级是判断主干河流的主要依据，它反映了河流在水系结构中的相对重要性。河系等级体系的建立可以依据 Horton（1945）规则、Strahler（1957）规则或者 Shreve（1966）规则。此外，专题信息是制图综合的辅助依据。

2.1.1 河系的路径系统组织 建立河系等级体系的基础是河系树的组织和分析。河系通常是以弧段—结点模型表示的，为了能够直接对河流整体进行分析和操作，必须事先将河段组织为河流实体（路径）。毋河海^[3]提出的河流分级和河系树组织方法是，在地图数据库的支持下，递归地调用“河流条带缓冲区的自动形成”和“按带状缓冲区检索次级支流”，借此获得每条河流的父子关系表。例如，31 条河流的水系，可以得到 31 个父子关系记录。若以矩阵的行号表示父关键字，而用列号表示子关键字，则可以得到父子关系矩阵。为了查明河流的子树深度，还需进一步计算，根据矩阵维数的大小分别采用矩阵乘法或投影向量法确定子树深度。

本文提出一种新方法，它是以 GIS 数据库为基础，通过检索悬挂弧段来识别末级支流（图 2）。提取末级支流后，其余河段中又可提取末级支流（此时不是真正的末级支流）。通过递归地提取末级支流，逐次获得各个等级的河流段，最终建立河系的等级结构。按该方法建立的河流等级体系符合 Strahler（1957）规则。

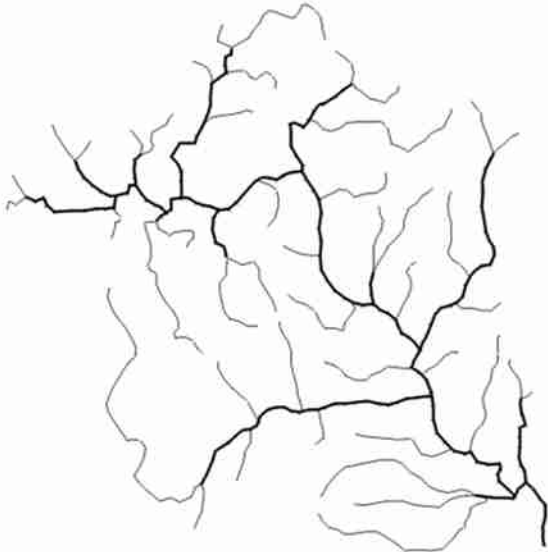


图 2 末级支流与河流主干
Fig. 2 Source branches and mainstreams

在 ARC/INFO 中，河流图形数据是以弧段形式存储的。末级支流与其它河流段之间有一个重要差别：末级支流是一个悬挂弧段，而其它河流段一般不是悬挂弧段。根据末级支流的悬挂弧段性质，在 ARC/INFO 中可以选取悬挂弧段提取所有末级支流。

当河系不是严格树状结构时，需要进行一些处理，将辫状分支简化为树状分支，以便正确识别河流等级。另一方面，当河流下游没有汇入海洋、湖泊等面状目标时，应虚拟一个临时的面状目标，以

避免下游河段被当作源头支流提取。

在递归提取末级支流的过程中，通过上游支流与下游河段的有条件合并，同时建立各河流实体（路径）。下游河流的源头支流是汇入该河流的所有支流中长度最大的那条支流。据此识别源头支流，并将其与下游河段合并到一个河流实体（路径）。汇入该下游河段的其它支流不是源头支流，因此其代表的河流实体（路径）到此终止。按此原则，等级最低的河流实体最早停止路径的生长，等级最高的河流实体最后完成路径的生成。

2.1.2 河系的制图综合 河系制图综合的主要任务是河流的取舍。在上述生成路径系统的过程中，已经建立了河流实体，并明确了各河流实体的等级，据此按河网密度取舍指标确定取舍定额，舍去等级较低、长度较短的河流。

如果河段附带有流量、流速、可通航性、污染程度等指标，在建立河流实体（路径系统）之后，可建立相应的事件表，以动态分段方式描述河流实体的多重属性信息。在制图综合中，将河流实体的等级、长度等几何结构信息与可通航性等专题属性结合起来，产生一个综合系数，根据该系数值的大小决定河流实体的取舍。

2.2 基于动态分段的道路网综合

道路相互交叉在平面上构成一种复杂网络，道路网综合中最重要的是保持其骨架结构，也就是保持主干道路和网络特征。

2.2.1 道路网的路径系统组织 道路网通常有大量的节点和众多的边，必须将各条边进行结构化组织，以便进行合理选取。目前提出了将路段组织为路径实现道路网综合的多种方法，Beard and Mackaness（1993）使用最小成本连通树（MCST，Minimum Cost Spanning Tree）概括道路网并保持其连通性，Thomson and Richardson（1995）使用最短路径连通树（SPST，Shortest Path Spanning Tree）概括道路网并保持重要结点之间的连通性。Thomson and Richardson（1999）依据路段之间的连续性构造 stroke 实施道路网概括。这些方法对路段的组织与现实世界不完全一致，并不能保证重要道路的完整性。

本文认为道路的类型/等级是其最重要的性质。事实上，在地图概括的长期实践中，总是给予重要道路较高的优先级，将重要道路完整地绘制出来。因此，依据路段的类型/等级属性进行道路实体的组织，并辅以连续性指标，将连续性好的同类型/等级道路合并为一个道路实体（路径），建立不同等级的道路实体。不过，对于同名路段可作适当灵

活的处理，在等级不同但等级差别不大的情况下将其组织到同一个道路实体中。

构造过程中，先建立高等级的道路实体，再建立较低等级的道路实体。高等级的道路实体延伸较远，可能对应现实世界中的多条相互连接的道路。低等级的道路实体被高等级的道路实体分割切断。

构造高等级道路实体的依据是道路等级的一致性和道路的连续性。分 2 种情况：

（1）如果两个等级相同的路段在相互连接处没有相同等级的其它路段汇入，不论它们之间的连接是否连续、光顺，都将它们组织到同一个道路实体中。

（2）在三个以上相同等级的路段交汇的地方，依据连续性原则，将连接较光顺的两个同等级路段组织到一个道路实体中。

较低等级的道路实体的组织同样以道路等级的一致性和道路的连续性为依据，但受到高等级道路实体的约束。也就是说，低等级的道路实体局限在高等级的道路实体构成的网眼内，被高等级的道路实体隔开的两个低等级的路段将不被组织到同一个道路实体中。图 3 标示了 3 个等级的道路实体（网眼内的道路实体还用箭头表示了它的端点）。

2.2.2 道路网的制图综合 以道路实体为基础，可以将汇入道路实体的其他道路当作分支，进行类似河系树的分析，以判断各道路实体在网络中的相对重要性。由于道路的重要性主要取决于其类型/等级属性，而不是树结构中的层次，因此本文以道路实体的分支数表征其在网络结构中的相对重要性。为简化计算，以某条道路实体为主干计算分支数时，我们只考虑主干的分支，不考虑分支的分支，也不考虑分支汇入角度的差异，任何角度汇入主干的道路都作为其分支，主干的权重依据其分支数量计算。

本文认为，道路实体的分支数反映了其结构联系，长度反映了其延伸度，因此道路实体的分支数比其长度具有更大的重要性。我们将道路实体按分支数为主、长度为辅进行两级排序，以确定同一等级的各个道路实体在道路网中的相对重要性。根据道路实体的相对重要性排序，实现道路网的控制性稀疏化，逐步舍去相对次要的道路实体，直到满足要求为止。

如果路段上有铺装质量等差异，或者道路上分布有重要居民地等事件，在建立道路实体（路径）之后，可建立相应的事件表，以动态分段方式描述道路实体的多重属性信息。在制图综合中，将道路实体通过的居民地的重要性级别等属性转化为一个

权重系数, 与道路的等级、分支数、长度等信息结合起来, 产生一个综合系数, 以便道路的选取更加合理。

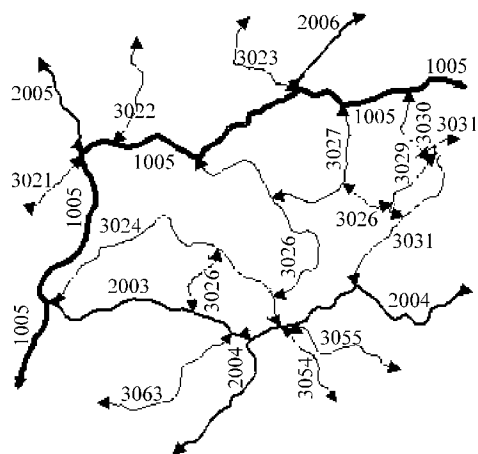


图3 不同等级的道路实体

Fig 3 Road features of different grades

3 试验与结论

本文以1:100万广东省水系图和公路交通图的局部区域为例进行了制图综合试验(综合到1:200万)。数据来源为1:100万土地利用数据, 河流和道路都没有附加属性信息。

(1) 河流制图综合试验过程中, 先对河流进行一些技术处理, 其一是将河流通过湖泊、水库的地方用中心线连接起来, 其二是将辫状水系简化为树枝状水系, 其三是将下游河流的出口处加上一个虚拟的环。另外, 为正确识别河流等级, 还将双线河按单线河来表示。然后识别河流实体, 建立河系树, 在此基础上进行河流结构化选取。

(2) 道路网制图综合过程中, 先参照广东省公路图区分各路段的类型/等级, 将道路分为高速公路、国道、省道、其他道路四类。然后按道路等级由高到低的顺序, 依次建立高速公路、国道、省道、其他道路等各类道路实体。其中, 高速公路、国道按连续性组织时不考虑其他道路的切割问题, 省道和其他道路则被高速公路和国道切割。最后对道路的取舍主要是舍去部分省道以下的道路。

线状要素通常以弧段的形式存储在数据库中, 不利于对线要素进行整体操作。本文提出以动态分段为基础, 建立与现实世界对应的线状实体, 通过线状实体树结构分析并结合属性分析, 对线要素进行整体操作和结构化选取, 为线状网络的制图综合提供了一种有益的思路。

参考文献:

- [1] 沈婕, 阎国年. 动态分段技术及其在地理信息系统中的应用[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2002, 25(4): 105—109.
- [2] 乔延友, 武红敢. 地理信息系统中动态分段技术的研究[J]. 环境遥感, 1995, 10(3): 211—216.
- [3] 毋河海. 自动综合的结构化实现[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1996(3), 21(1): 277—285.
- [4] MACKANESS W A, BEARD K. Use of graph theory to support map generalization[J]. Cartography and Geographic Information Systems, 1993, 20(4), 210—221.
- [5] THOMSON R C, RICHARDSON D E. A graph theory approach to road network generalization // Proceedings of the 17th ICA[C]. Barcelona 1995.
- [6] THOMSON R C, RICHARDSON D E. The 'Good Continuation' Principle of Perceptual Organization Applied to the Generalization of Road Networks // Proceedings of the 19th ICA[C]. Ottawa, 1999.

Line Generalization Based on Dynamic Segmentation

ZHANG Qing-nian

(School of Geographic Science and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Lines are represented by arc-node model in most geographical information systems. Arc-node model divide lines into segments and cannot manipulate lines as a whole. In contrast, dynamic segmentation model groups arcs into routes, thus routes can represent intact lines. Based on dynamic segmentation model, this paper proposes a method to organize arcs into route systems and analyze their relative importance related to the linear network. The cases of river system and road network are discussed. Structural parameters are further derived for each route for network generalization. Based on these parameters, linear entities are selected as a whole in a structured way, so that the overall structure of linear network may be maintained. A case study is also carried out to test the method using sample road data in Guangdong Province.

Key words: dynamic segmentation; generalization; linear feature