

河系树的建立及其应用^{*}

张青年¹, 全 洪²

(1. 中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510275;

2. 佛山市国土资源局南海分局, 广东 佛山 528000)

摘 要: 从树状河系的结构特点出发, 提出了自河源开始向下游追踪, 由河段数据构建河流实体、区分左右支流、自动建立河系树的方法, 并将其用于河流数据的查询处理与数据质量检查。并在 Java 环境下编程试验了该方法, 在河流检索及数据检查试验研究中取得了满意的效果。

关键词: 树状河流; 河系树; 数据检索; 质量检查

中图分类号: P283.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2005) 06-0101-04

1 引 言

水系数据通常是以河段的形式存储在空间数据库中。为便于在河流实体和水系层次上进行查询和处理, 就需要对河段数据进行重新组织, 建立河流实体和河系树^[1-6]。母河海^[2]提出了在手工建立河流实体基础上, 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。郭庆胜^[4]依两条边的夹角小于 90° 则交点为下游的原则来确定各段河流的流向; 在两个河段流向有冲突时, 依据在大多数数据情况下为正确的原则, 由该两条边的另一个节点确定其正确方向。Thomson等^[5]提出了基于知觉组织原则构建河流 stroke 的方法。这些方法涉及到建立河系树过程中某些环节的处理, 但未形成完整的解决方案, 例如母河海的方法需手工建立河流实体。

我们将没有闭合环(辫状分枝)的水系称为树状水系。在树状水系的各个主支流交汇处, 存在多个上游河段, 但只有一个下游河段。将河段数据按图状结构重新存储, 则树状河流具有一系列重要性质: ①度为1的顶点为河源河段的起点或河口河段的终点, 即从河源出发的河段和到达河口的河段都只有一个。②度为2以上(包括2)的顶点为上下游河段或主支流河段交汇点。③在两个以上河段的交汇点, 只有一个下游河段, 但可能有多个上游河段。本文从树状河流的上述性质出发, 提出一种自

动建立河系树的方法, 实现多个方面的自动处理: 河流方向改正、河流实体构建、左右支流的识别、子树深度计算、河系树的生成。在建立河系树的基础上, 将能够直接在河流实体和河系的层次上进行查询和处理, 同时也可用于河系数据质量检查。

本文自动构建河流实体和河系树的基本步骤是:

- (1) 将河段数据按图状结构存储, 直接检索出顶点度数为1的河源顶点和河口顶点。
- (2) 改正河源河段的方向; 并从河源顶点向下游追踪, 改正下游河段的方向。
- (3) 在河流交汇处, 将长度最大的上游河段与其下游河段合并, 构建河流实体。
- (4) 依据支流汇入的方向, 区分左右支流, 并对同侧支流排序。
- (5) 依据汇入的支流的数量和等级, 确定主流的等级。

2 河系树的自动建立

2.1 河流数据的重新存储

本文以河段为边、河段的始末结点为顶点, 采用有向图表示河段数据。其中, 每条边包含方向相反的两条有向边, 第一有向边与河流方向一致, 第二条有向边是它的反向边。为便于同时以顶点或边为入口进行检索, 采用一种边集数组与邻接表结合的有向图数据结构。这种混合式结构包含有一个边列表和一个顶点列表。每条边由两条方向相反的有

^{*} 收稿日期: 2005-04-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40101024); 国家“985工程”GIS与遥感的地学应用科技创新平台基金资助项目(105203200400006)

作者简介: 张青年(1968年生), 男, 博士, 副教授, E-mail: zqyzsu@163.com

向边组成, 每条有向边记录了它的起点和终点。每个顶点附带一个有向边列表, 记录以该顶点为起点的各条有向边。采用这种数据结构, 可以方便地查询河段图中符合某种条件的顶点和边, 有利于进行灵活多样的查询处理。

在重新存储河段数据之前, 应将所有河段从交点处分裂而形成标准的弧段—结点结构 (允许有伪结点), 以避免两条河流交叉但不汇合于交叉点的错误。将各个河段的坐标串和端点信息按上述数据结构存储, 自动产生河段图。在河段图中, 手工标记河口河段 (或河口顶点)。显然, 一个树状河系只有一个河口, 易于手工标记。

2.2 河流方向的改正

河段数据通常是顺着河流流向采集的, 但也有逆流而采集而产生方向错误的河段, 需改正其方向。郭庆胜^[4]按两条边的夹角小于 90° 则交点为下游的原则来改正河流方向, 但判别出的方向可能存在冲突。本文则在河流源头识别的基础上, 自上游向下游追踪各个河段并改正其方向, 使其由上游指向下游。具体步骤是:

(1) 在河段图中检索出所有度为 1 的顶点, 剔除其中的河口顶点, 剩余顶点为河流源头顶点。检索出起点或终点为河源顶点的边, 所有这些边都是源头河段。

(2) 选取一条源头河段, 若其起点不是河源顶点, 则将其起止顶点互换, 并标记为已改正方向。

(3) 顺着已标记的河段的尾结点向下游追踪, 改正下游河段的方向。依据已标记河段的尾结点的度分 3 种情况处理: ① 若度为 1, 则尾结点为河流的终点 (河口)。转步骤 (2) 处理下一个源头河段。② 若度为 2, 则尾结点为当前河段与唯一一条下游河段的公共顶点, 将下游河段的方向改正为由公共顶点指向该下游河段的另一顶点, 标记该下游河段。将该河段设定为当前河段, 其终点设定为尾结点, 转步骤 (3) 继续向下游跟踪。③ 若度为 3, 则意味着尾结点连接着多个上游河段及一个下游河段。若这些河段中只有一个未标记 (未改正方向), 则这个未标记的河段就是下游河段, 改正其方向并标记该河段, 更新尾结点, 转步骤 (3) 继续向下游跟踪。否则, 如果两个以上河段未标记, 则不能确定下游河段, 转步骤 (2) 处理下一个源头河段。

重复上述步骤, 直到所有河段都被改正方向并标记。

2.3 河流实体的构建

这一过程将河段合并为河流实体。合并操作的 2 个基本原则是: ① 如果河流数据含有河流名信

息, 应将同名河段合并到同一个河流实体中。② 两个方向相反的河段不能合并到同一个河流实体。但是, 现有河流数据往往是不完备的, 许多河段没有河流名信息, 因此无法依据河流名合并河段。几何信息是合并河段的另一重要依据。在主流交汇处, 通常选择最长的并且连接最顺直的上游支流、流域面积最大的上游支流、或连接最顺直的上游支流合并到下游河段。

本文结合河段的属性信息和几何信息进行合并。也就是说, 将流向一致的同名河段合并到同一个河流实体中; 在没有河流名的情况下按长度原则进行合并。我国通常将最长的支流确定为河流的正源, 因此本文按长度最大的原则合并上游支流河段, 构建河流实体。在河流汇合处, 必须比较它的各个上游支流的长度, 以便选取最长上游支流为河流源头。而上游支流长度的计算以该支流的更低级支流实体的构建为前提, 这是一个向上游溯源递推的过程。显然, 在河流方向改正的基础上, 采用从源头向下游追踪的方式, 可以方便地从末级支流开始构建各级河流实体, 直到最高级别的主流 (图 1)。具体步骤是:

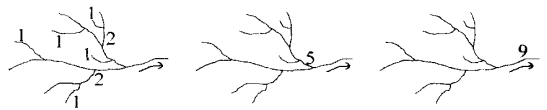


图 1 下游河段在构建河流实体过程中被合并到最长的上游支流

Fig 1 River entities constructed by combining downstream segments

(1) 在河段图中检索出河流源头顶点, 识别源头河段, 并标记为起点为源头的河段。

(2) 选取一条已标记的河段, 依据尾结点的度分 3 种情况处理: A. 若尾结点的度为 1, 表明已到达该河流实体的终点 (该终点可能是河口, 也可能是与主干河流的交汇处), 转步骤 (2) 处理下一已标记河段。B. 若尾结点的度为 2, 则该结点连接着当前河段与唯一一条下游河段。将下游河段合并到当前河段, 并更新当前河段的尾结点。然后继续向下游跟踪, 依据尾结点的度分 3 种情况处理。C. 若尾结点的度为 3 及以上, 则连接着多个上游河段及一个下游河段。在存在河流名信息的情况下, 合并同名河段, 否则按长度最大原则合并河段。若各个上游河段都已标记 (起点为源头顶点), 将下游河段合并到最长的上游河段, 更新该上游河段的尾结点, 然后将合并后的河段作为当前河段继续向下游跟踪。否则若某个上游河段未标记, 则转步骤

(2) 处理下一已标记河段。

(3) 重复上述步骤，完成各个已标记河段的处理。

2.4 左右支流的区分

支流矢量方向是区分左右支流的依据。毋河海^[3]提出依据支流矢量以最小角度旋转到主流矢量时的方向特征（顺时针还是反时针）来区分左右支流。这种方法只比较了支流矢量方向与汇入点以下的主流矢量方向，没有考虑这两个矢量方向与汇入点以上的主流矢量方向的关系，适合于支流与下游主流顺直连接、以钝角汇入情况下左右支流的区分。

本文基于支流矢量、汇入点上游主流矢量及汇入点下游矢量三者的关系区分左右支流。具体地说，是比较支流矢量的反方向、上游主流矢量的反方向、下游主流矢量的正方向与 x 轴的夹角。假设上述 3 个夹角分别为 C 、 A 、 B ，取值为 $0 \sim 360$ 。若 $(A - B + 360) \% 360 > (C - B + 360) \% 360$ ，则该支流位于主流的右侧；否则，则该支流位于主流的左侧。这里 $\%$ 为取余运算。由于同时考虑了支流矢量、汇入点上游主流矢量及汇入点下游矢量 3 个方向，该方法能更有效地区分左右支流。支流与下游主流的方向通常是一致的，但有时却是不一致的。由于河流袭夺等现象的存在，支流与下游主流的连接可能并不顺直，甚至支流以锐角汇入下游主流。因此应该综合考虑上述 3 个矢量方向。在自上游向下游追踪并构建河流实体的过程中，将识别出的左右支流记入左右支流列表，同时完成同侧支流自上游向下游的排序，并动态更新子树深度值。



图 2 左右支流的区分

Fig 2 Distinction between left tributaries and right ones

3 河系树的应用

河系树是河流数据查询与分析的重要基础，也是河流数据质量检查的重要手段。我们在 Java 环境下使用上述方法编程实现了河系树的自动建立，并设计相应算法实现了河流检索分析与数据检查，取得了良好效果。

3.1 河流检索与分析

在河系树的基础上，可以进行灵活多样的检索与查询。例如，检索河系中某个等级的河流、某个子流域、某条河流的左侧支流或右侧支流、某条河

流的同侧上游支流或同侧下游支流、计算河间距、计算河网密度，等等。这类查询检索也是河系简化等复杂处理的基础，例如依据河流长度、等级、河间距等选取相对重要的河流。

以检索某河流的左侧支流为例，其基本算法为：

(1) 将待检索的河流及其左侧支流加入到结果集；

(2) 对于前述左侧支流，逐个进行下述处理：A. 将当前河流加入到结果集；B. 依次处理当前河流的各条左侧支流，每次将当前的左侧支流设定为当前河流，返回步骤 A；C. 依次处理当前河流的各条右侧支流，每次将当前的右侧支流设定为当前河流，返回步骤 A；D. 重复上述操作直到当前河流的左侧支流和右侧支流均为空。

图 3 是检索某河流的左侧支流试验结果，正确检索出了该河流左侧的各条支流。



图 3 左侧支流检索试验

Fig 3 Query of left tributaries of a river

3.2 数据质量检查

河流数据通常包含有或多或少的错误，包括方向错误、河流名称错误等。在河系树的基础上，可以对这些错误进行检查和纠正。河流方向纠正的方法已在 2.2 节中论述，不再赘述。河流名称的检查以河流实体的构建为基础。如前所述，我们以河流名称、河流方向为基础，合并下游河段与最长上游支流而构建河流实体。对此方法略作调整即可进行河流名称检查，即先按最长上游支流标准合并生成河流实体，再检查河流实体内部的各个河段的河流名称是否相同。如果同一河流实体内部各个河段的河流名称有差异，则需进一步检查河流名称确实是有变化，还是名称赋值错误。

4 结 论

将河段数据组织为树结构形式，显式地表达各种结构信息，包括河流的层次结构、等级、区分左右支流等，有利于河流信息的查询分析和处理。本文从树状河系的结构特点出发，在自动识别河流源

头的基础上，提出了自动改正河流方向、建立河系树、区分左右支流的方法，完成了河流数据结构化组织的自动实现，并将其用于河流数据的查询处理与数据质量检查。在 Java 环境下编程实现了建立河系树与河流检索及数据检查的插件，试验研究取得了满意的效果。

参考文献:

[1] 张园玉, 刘耀林. 基于图论的树状河系结构化绘制模型研究[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2004, 29(6): 537—539.
[2] 毋河海. 河系树结构的自动建立[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1995, 20(增刊): 7—14.

[3] 艾自兴. 水系综合中河网数据组织及其结构[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1995, 20(增刊): 24—29.
[4] 郭庆胜. 河系的特征分析和树状河系的自动结构化[J]. 地矿测绘, 1999(2): 7—9.
[5] THOMSON R, BROOKS R. Exploiting perceptual grouping for map analysis, understanding and generalization: The case of road and river networks[M]. //BLOSTEIN D, KWON Y B, eds. Graphics Recognition: Algorithms and Applications, Lecture Notes in Computer Science, Vol 2390. Berlin: Springer, 2002: 141—150.
[6] HORTON H. Erosional development of streams and their drainage basins hydrophysical approach to quantitative morphology [J]. Bulletin of the Geological Society of America, 1945, 56: 275—370.

Construction and Application of River Tree

ZHANG Qing nian¹, QUAN Hong²

(1.School of Geography and Planning, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China;
2. Nanhai Branch of Foshan Land Resource Bureau, Foshan 528000, Guangdong, China)

Abstract: According to the characteristics of dendritic river systems, a method of constructing river tree was proposed. Starting from river sources, river entities was constructed from river segments, and left and right tributaries of the main stream were identified. The method was fested in Java environment. The results showed that the method was effective to construct river trees and river tree was useful for data query and quality inspection.

Key words: dendritic river; river tree; data query; quality inspection