

文章编号:1671-8860(2008)09-0978-04

文献标志码:A

# 树状河系主流的自动推理

郭庆胜<sup>1,2</sup> 黄远林<sup>1,2,3</sup>

(1 武汉大学资源与环境科学学院,武汉市珞喻路129号,430079)

(2 武汉大学地理信息系统教育部重点实验室,武汉市珞喻路129号,430079)

(3 钦州学院环境与经济学系,钦州市南珠西大街,535000)

**摘要:**分析了不同类型河系的空间特征,对非网状河系以180°假设和锐角假设为基础,改进了自动确定河段流向的定量化决策表,当出现流向冲突时,遵守少数服从多数的原则。参考河段的流向、节点处分支河段的累计河段数和累计长度,能自动推理出树状河系的主支流关系。在此基础上,进一步研究了树状河系的编码方法,并用实例验证了所提出的算法。

**关键词:**河系;空间特征;空间推理;流向;主流

**中图法分类号:**P283.1

很多学者、专家都对河系进行了研究,取得了大量的研究成果<sup>[1-4]</sup>。本文根据子河系所表现出来的空间特征,利用空间推理的理论和方法推理出水流流向和主支流层次关系。

## 1 河系的空间特征

河系所构成的网络系统可以很小,也可以很大,但呈现出不同的空间特征,根据空间特征可把河系划分成不同的类型<sup>[3,4]</sup>。一个河系中,河流从汇合点处断开,中间无汇合点的一段河流就是一条“河段”,河段的端点是节点,每个节点有关联度、出度和入度。节点的关联度是指与该节点相连接的河段数;节点的出度是指按照河段的流向,从该节点流出的河段数;同理,入度是指流入节点的河段数。

网状河系与非网状河系的根本区别是有无环路,但是,这里所讨论的河流都是单线河。若河系中存在面状水域,且当面状水域的面积小于阈值时,则把面状水域单线化,即获取面状水域的最佳中心线或骨架线,并用其代替面状水域。

## 2 河段流向的空间推理

毋河海<sup>[5]</sup>研究了河系树结构的建立方法。他

认为,河系中主流具有最大的长度,可以依据长度来确定主流(或者人为指定),然后利用主流的缓冲区和向量叉积的方法来确定主流左右两侧的支流,按照该方法就可以建立主流和各等级支流的层次性树结构关系<sup>[5]</sup>。Paiva等在矢量数据模型上对河系中各条河段的流向提出了自动判别的方法,该方法所使用的规则是已被公认的地质知识:主流上,在河流的汇合处,上下游河段的流向几乎在一条直线上,常被称为“180°假设”;在所有河流的汇合处,由两条上游河段所形成的夹角中至少有80%是锐角,常被称为“锐角假设”。他们依据这两种假设设计了一个确定河段流向的决策表<sup>[6-8]</sup>,因该决策表不是以相邻河段之间的夹角为基础,也没有考虑河流汇合处的关联度大于3的情况,故有一定的局限性。

如图1(a)所示,河段C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>和C<sub>3</sub>在节点处汇于一处,形成了3个夹角θ<sub>1</sub>、θ<sub>2</sub>和θ<sub>3</sub>,它们的取值范围在理论上是(0,360°),选一个最小的夹角为θ<sub>1</sub>;若3个角都等于120°,则任选一个夹角为θ<sub>1</sub>,θ<sub>1</sub>是C<sub>1</sub>顺时针到C<sub>3</sub>的夹角,依次可确定θ<sub>2</sub>和θ<sub>3</sub>。仅从角度考虑,以锐角假设为优先决策条件,就可以判断哪一条河段为下游河段,哪两条河段为主流河段,决策表见表1。

在自然界,以及在地图综合中,随着比例尺的变小,常会出现多于3条河段汇于一处的情况,

表1 当三河段汇于一点时的河段流向定量化决策表

Tab. 1 Quantitative Decision-Making of Flow

Directions of 3 Channels Intersecting on a Node

编码	示例	角度大小关系	下游	主流河段
1		$\theta_1 < \theta_2 < \theta_3$	$C_2$	$C_3, C_2$
2		$\theta_1 < \theta_3 < \theta_2$	$C_2$	$C_1, C_2$
3		$\theta_1 < \theta_2 = \theta_3$	$C_2$	$C_3, C_2$ 或 $C_1, C_2$
4		$\theta_1 = \theta_2 < \theta_3$	$C_2$ 或 $C_3$	$C_3, C_2$
5		$\theta_1 = \theta_3 < \theta_2$	$C_2$ 或 $C_1$	$C_1, C_2$
6		$\theta_1 = \theta_2 = \theta_3$	任选一条	任选一条

如图1(b)所示,设 $|\theta_0 - 180^\circ|$ 最小,  $C_1$ 和 $C_2$ 是相关的两条河段,以 $180^\circ$ 假设为优先决策条件,则主流河段为 $C_1$ 和 $C_2$ 。设与 $C_1$ 和 $C_2$ 相邻的河段之间的最小夹角分别为 $\theta_1$ 和 $\theta_2$ ,确定河段流向的决策表见表2。

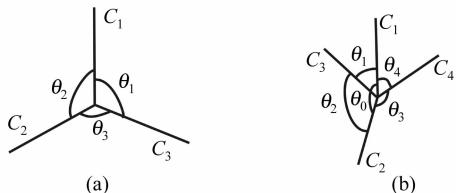
图1  $\theta_1$ 的确定Fig. 1 Determination of  $\theta_1$ 

表2 节点关联度大于3的河段流向定量化决策表

Tab. 2 Quantitative Decision-Making of Flow Directions

When the Node Association-Degree is Over 3

编码	示例	角度条件	下游
1		$\theta_1 < \theta_2$	$C_2$
2		$\theta_1 > \theta_2$	$C_1$
3		$\theta_1 = \theta_2$	$C_2$ 或 $C_1$

锐角假设并不是指全部的夹角为锐角,因此,必须利用少数服从多数的原则,自动确定河系中河段的流向,具体算法如下:① 构造河系图,所有河流从汇合处分段,如图2(a)所示。② 寻找关联度为1的节点,找到从关联度为1的节点出发的所有河段,判断这些河段汇入哪些节点(如 $N_1$ 、 $N_9$ 、 $N_2$ 、 $N_3$ 、 $N_4$ 、 $N_{11}$ 、 $N_{10}$ 等),并假设所有相关外围河段的流向是从关联度为1的节点到关联度大于1的节点,同时按照河段流向定量化决策表可以确定与这些节点相关的河段的流向。若两种方法确定的同一条河段的流向有冲突,就说明暂时无法确定其流向,如图2(b)所示的虚线河段。③ 寻找关联度大于1的节点,按照河段流向定量化决策表继续处理与其他节点相连的河段流向,如节点 $N_7$ 、 $N_{12}$ 、 $N_{13}$ 和 $N_{15}$ ,如图2(c)所示,此时会出现新的流向冲突。④ 遍历所有节点,若与外围河段关联的节点上有相连的无法确定流向的河段,则与该节点相连的所有河段都变成有流向冲突的河段,结果如图3(d)所示,实线表示河段的流向已确定,虚线表示未确定流向的河段。⑤ 按照少数服从多数的原则和 $180^\circ$ 假设,在当前所得河段流向的基础上,进一步处理其他河段的流向。选择与节点相连的河段中仅一条河段未确定流向的节点,如节点 $N_7$ 、 $N_{13}$ 、 $N_{15}$ ,按照少数服从多数的原则和 $180^\circ$ 假设就可推理出未知河段的流向。如可推理出河段 $C_5$ 、 $C_8$ 、 $C_{12}$ 的流向,因 $C_2$ 和 $C_5$ 的流向应当一致,故 $C_3$ 为 $C_5$ 的次级支流,同理可推理出 $C_1$ 与 $C_{12}$ 、 $C_7$ 和 $C_8$ 的流向一致。同理,可推理出 $C_9$ 的流向,与 $N_4$ 、 $N_5$ 、 $N_6$ 相连的其他未确定流向的支流为次级支流,如图2(e)所示。重复该过程,直到所有河段的流向都被确定,如图2(f)所示。⑥ 确定整个河系的出口,它就是河段流向所指向的最外围的节点,如节点 $N_8$ 。

### 3 主支流关系的自动识别

确定主支流关系的重点是找到主流河段,若只从河系的图形特征来分析,主流往往是最长的河流,在节点处也符合 $180^\circ$ 假设。但在主流的搜索过程中,只能以河系中节点处的信息为基础,因此在所有河段流向已确定的情况下,需要从源头开始计算每条河段的累计河段数和累计长度。如图3所示,河段 $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ 与主流河段(下游河段) $T$ 交于一处,设 $T$ 与 $H_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ )之间的夹角为 $\beta_i$ ,  $0^\circ \leq \beta_i \leq 180^\circ$  ( $1 \leq i \leq m$ ),  $\theta_i = 180^\circ - \beta_i$ ,  $r = \min(\theta_i)$ ,  $H_i$ 对应的特征值为 $(M_i, L_i)$ ,其

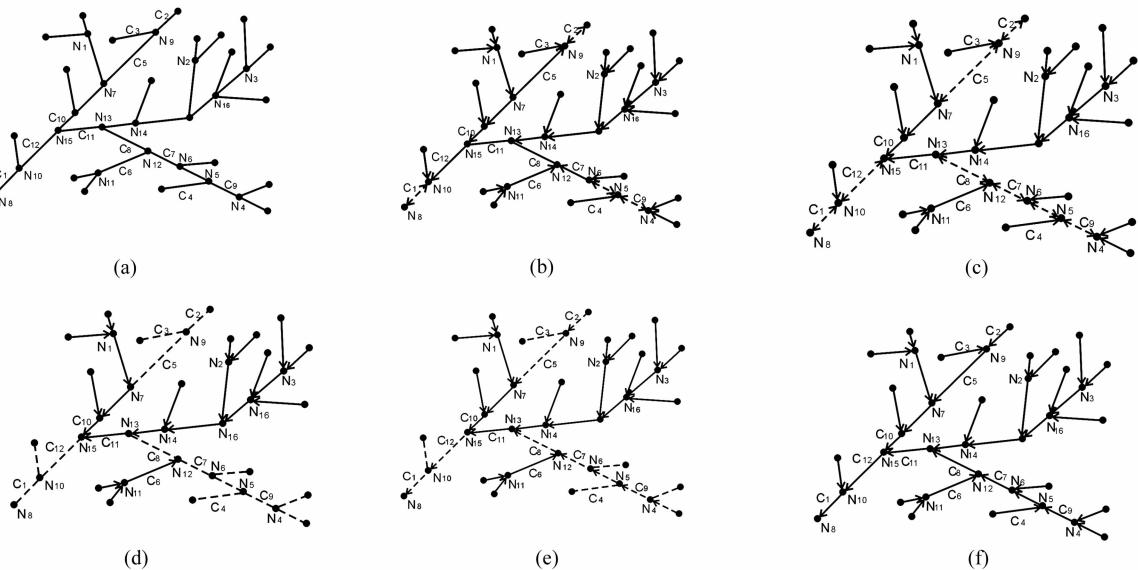


图2 确定河段流向

Fig. 2 Identifying Flow Direction of Channels

中,  $M_i$  为累计河段数(即累计流入第  $i$  条河段的所有河段的总数加 1);  $L_i$  为流入第  $i$  条河段的所有河段的累计总长度加本河段的长度。

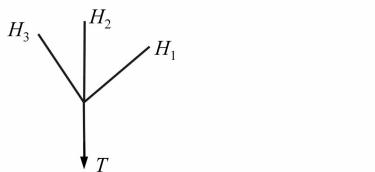


图3 一个节点处的所有河段

Fig. 3 All Channels on a Node

$r$  反映了  $180^\circ$  假设,  $(M_i, L_i)$  反映了河段  $T$  的几条上游河流的复杂程度和长度。判断  $\{H_i\}$  中哪条河段为主流的基本原则是: 以  $180^\circ$  假设为选择主流  $H_i$  的基准, 但若其他河段的  $(M_j, L_j)$  ( $j \neq i$ ) 值比该主流的值大很多时, 选择  $H_j$ 。为了便于计算, 设  $|M_j - M_i|$  的阈值为  $a_1$ ,  $L_j / L_i$  的阈值为  $a_2$ , 那么判断主流的规则是:

```

IF max |Lj / Li| > a2, THEN 主流河段为 Hj
elseif max |Mj - Mi| > a1, THEN 主流河段为 Hj
else Hi 为主流河段
endif

```

由于只计算河流大致的长度对比, 因此可以选一条最短的河段作为基准长度, 如选择图 4 中编号为 12 的河段长度为 1 个单位长度, 其他河段的长度换算为整数个长度单位, 依据河段的流向从最上游向河系出口计算每条河段的特征值  $(M_i, L_i)$ , 图 4 中特征值已直接标在相应的河段

上。设  $a_1 = 4$ ,  $a_2 = 2$ , 从图 5 的河段 1 为起始河段, 河系的主流河段编号为 1, 逆河段流向进行主流搜索, 河段 3 的特征值远远大于河段 2, 推断出河段 3 为主流河段, 编号为 1, 以此方法搜索下去就可以得到整条主流, 其河段集合为 24、22、17、16、14、4、3 和 1, 见图 5 中编码为 1 的河段。

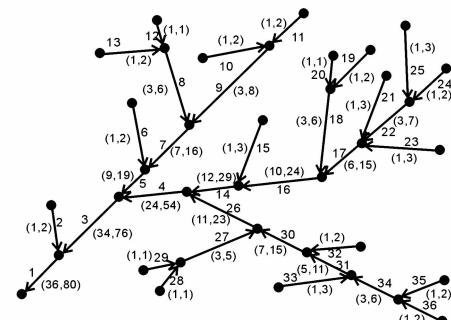


图4 河段的特征

Fig. 4 The Attribute of Channels

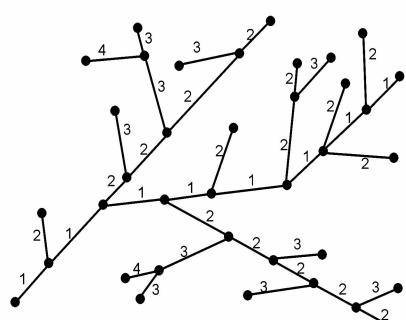


图5 主流和支流

Fig. 5 Main Stream and Branches

随后,选择主流上的一个节点,作为次级支流的出口,利用上面的方法就可得到整条支流,并处理完主流上的所有节点。看是否还有下一个等级的支流,若无下一等级的支流,则结束。否则,按同样的方法,把当前等级的支流作为主流,搜索下一等级的支流,直到搜索完所有河段。图5中编码说明了主支流的等级。

## 4 实例验证

实验数据来源于国家1:100万基础地理信息数据库,在ArcGIS中以3.5889为1个基本长度,计算每一条河段的长度(取整数),但当河段长度太短时,可以忽略,如最短的河段长度约为0.8,就忽略不计。然后计算每条河段的特征值( $M_i$ , $L_i$ )。为了搜索主流,设 $a_1=4$ , $a_2=2$ ,根据主流河段的判断规则来确定主支流的层次关系,得到一个完整的河系主支流编码图。

经统计分析可知,该河系没有环路,共有145条河段,154个节点,出度大于1的节点数为0;共有主支流交角74个,其中锐角61个,所占比率为83%;支流较多,很不规则,支流等级数在3以上。根据这些空间特征,可推理出该河系为树状河系。

## 参考文献

[1] Horton R E. Erosional Development of Streams and

Their Drainage Basins[J]. Bulletin of the Geological Society of America, 1945, 56: 275-370

- [2] Hack J T. Studies of Longitudinal Profiles in Virginia and Maryland[J]. U. S. Geology Survey, 1957 (294B): 45-97
- [3] 齐清文. 地理信息科学中的集成化与信息产品开发[M]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,2003
- [4] 祝国瑞,尹贡白. 普通地图编制(下册)[M]. 北京:测绘出版社,1983
- [5] 周海河. 地图综合基础理论与技术方法研究[M]. 北京:测绘出版社,2004
- [6] Paiva J, Egenhofer M J, Frank A. Spatial Reasoning About Flow Directions: Towards an Ontology for River Networks[J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1992, 24 (B3): 318-324
- [7] Paiva J, Egenhofer M, Dias L. A Robust Algorithm to Infer the Flow Direction in River Networks[J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1996, 26(B3): 162-169
- [8] Paiva J, Egenhofer M J. Robust Inference of the Flow Direction in River Network [OL]. [http://www.spatial.maine.edu/~max/pubs\\_RJ.html](http://www.spatial.maine.edu/~max/pubs_RJ.html), 2002

第一作者简介:郭庆胜,教授,博士,博士生导师。主要从事地图制图综合、地理信息智能化处理与可视化的研究。

E-mail:guoqingsheng@126.com

## Automatic Reasoning on Main Streams of Tree River Networks

GUO Qingsheng<sup>1,2</sup> HUANG Yuanlin<sup>1,2,3</sup>

(1) School of Resources and Environment Science, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2) Key Laboratory of Geographic Information System of Ministry of Education, Wuhan University,  
129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(3) Department of Environment and Economics, Qinzhong College, West Nanzhu Street, Qinzhong 535000, China)

**Abstract:** The spatial characteristics of different types of river networks are analyzed. On the basis of 180° assumption and the acute angle assumption for non-networks rivers, the quantitative decision-making table of automatic determination of flow direction is improved. With the flow directions conflict, the principle of subordination of the minority to the majority is applied. According to the flow directions of channels, accumulated numbers and accumulated lengths of channels on a node, the relations of main streams and branch rivers can be reasoned automatically. On the basis of this analysis, the coding method of tree network rivers are studied. The experimental results show the validation of this algorithm.

**Key words:** river networks; spatial characteristics; spatial reasoning; flow direction; main stream