

# 基于 GIS 的河道贴体网格自动生成算法研究

江志军<sup>1</sup>, 李德仁<sup>1</sup>, 王 伟<sup>1</sup>, 李 兰<sup>2</sup>, 易华蓉<sup>1</sup>

(1. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室, 湖北 武汉 430079; 2. 武汉大学水利水电学院, 湖北 武汉 430072;  
3. 武汉大学遥感信息工程学院, 湖北 武汉 430079)

**摘要:** 利用地理信息系统(GIS)基于空间位置信息的技术特点,对河道贴体网格的自动化生成算法进行了研究。基于GIS矢量线的节点间空间位置关系,对任意位置上的河道流向进行了较高精度的数值表达,进而实现了河道断面的自动剖分;设计出一系列算法,解决了网格生成过程中可能出现的交叉、拧绕等问题,从而保证了剖分网格对河道区域平面分布的自适应性特征;基于数字高程模型(DEM)高程插值,对河道区域地表模型进行重建与分析,生成得到的河道贴体网格。经验证,该算法具有较好的贴体性质和较高的运算效率。

**关键词:** 地理信息系统; 数字高程模型; 河道; 贴体网格; 自动生成; 计算方法

中图分类号: TV133; TP79 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2004)06-0793-08

在应用诸如有限差分法、有限体积法等对流体力学及其他的力学及物理问题进行数值求解时,需要生成相应的计算网格。为了便于处理物面边界条件,要求网格具有贴体性质,即贴体网格。一般地,这种网格由一系列二维(或三维)不规则四角网构成<sup>[1]</sup>。

贴体网格在水动力模型乃至流体力学模型中都有着较为广泛的应用<sup>[2]</sup>,但目前,河道计算模型上的网格剖分工作仍然以手工划分和人工测图为主,且一般应用于局部河段上的模型计算,难以对大型整体河道进行计算与评价;现有的数字高程模型(DEM)<sup>[3]</sup>数据类型无法直接输入模型进行计算,不规则三角网(TIN)<sup>[4]</sup>虽然可以很好地适应河道地形,但其数据结构无规律性,只在基于有限元方法的水动力模型研究中有所应用;国内外已有的贴体网格自动剖分算法和软件很少与空间信息相结合,剖分结果难以直接用来进行基于空间位置的河道表现<sup>[5,6]</sup>。

文中的算法及研究正是基于地理信息系统(GIS)中的数字高程模型,实现了大型天然河道贴体网格的自动剖分,解决了研究项目中GIS与水动力模型之间集成的数据接口问题。

## 1 算法设计原理及特点

现有的贴体网格生成方法中,可分为代数方法、保角变换法和偏微分方程法3类。如文献[1]中所述,这3类方法各有利弊,其中,代数方法具有计算快的优点,但对复杂的几何形状往往存在困难。

河道贴体网格剖分的实质是对河道在三维空间的分布情况进行离散化的数值表达,表达的精度越高当然越有利于细节问题上的研究,但在对大型天然河道上进行水动力模型推演的过程中,精度的提高往往是以庞大的数据量和计算量为代价的,如:降水分析、洪水灾害分析等,模型结果往往对计算网格的精度有较好的包容性。因此文中采用如下方法对整体河道地形进行了近似的数值表达:

自河道起点到终点沿流向(河道中心线)垂直方向等距离截取高程断面;每一高程断面上,等间距采样一定数量的高程点,内插得到该点的高程值,并且,断面上的取样方向与该处的河道流向始终满足右手定则关系(大拇指指向为取样方向)。

文中方法采用GIS中坐标点、矢量线的表达方式,对代数方法在“贴体性”和“自适应性”方面的不足进

收稿日期: 2003-08-08; 修订日期: 2003-12-30

作者简介: 江志军(1979-),男,湖北武汉人,武汉大学博士研究生,主要从事3S集成理论与技术研究。

E-mail: zijunjiang@sohu.com

行了一定的控制和改进, 同时在网格应用上有所创新。

## 2 计算方法

### 2.1 数据输入与存储

算法程序中的 DEM 数据源选用由栅格(GRID)数据和经其转换得到的 ASCII 文本<sup>[7]</sup>。河道高程图数字化后, 经过 GIS 平台软件处理得到相应的 DEM 栅格数据(可用于河道中心线提取, 考虑到后续的高程插值过程, 还需要从 DEM 栅格导出相应的 ASCII 文本)。关于数字化, 建立 DEM 和导出 ASCII 文本的具体内容, 见参考文献[8, 9], 应该说明的是, 水动力模型中的计算和推演一般是可以将河道内的水域作为一个整体的研究对象来进行统一处理的, 文中的算法在设计和实现的过程中, 对内岛地形不加以额外的区分。

在河道空间分布错综复杂的情况下, 河道图数字化得到的河道中心线对计算机自动提取出的中心线结果有一定的验证意义, 算法的数据输入部分提供对其的选择性导入功能。

### 2.2 河道流向的表达与计算

水动力的理论研究和实践表明, 河道中心线能够很好地刻画河道在二维平面上的空间分布和变化趋势, 有理由认为, 一定程度近似的河道中心线对流向的表达不会对后续模型计算结果产生大的影响。在本文的论述中, 近似认为二者是等同的。

考虑到人工编辑输入河道中心线自动化程度低, 有一定的精度随机性, 且直接从 DEM 栅格数据中, 利用一系列细线化算法提取出河道中心线是可行的, 有利于提高本方法的自动化水平, 因而对有关算法进行了研究, 并提出了改进的方案。

经典的细线化算法有基于模板处理的 Hilditch 法和闭曲线高速细线化算法等<sup>[10]</sup>, 还有一些从经典算法优化和改进而来的快速算法<sup>[11]</sup>, 然而, 河道 DEM 栅格象素分布有其自身的特点, 如图 1 所示, 以西江干流河道高程栅格数据为例(Grid Size= 30 m), 不失一般性。比较其空间分布范围(外围矩形)而言, 河道栅格数据在计算机中的存储将表现出包含大片的无效值, 而经典的细线化算法往往基于图像外接矩形区域上的模板计算, 直接采用这些模板算法会导致大量的计算时间浪费, 需要进行相应的改进, 文献[12]中介绍了一种大幅图像的分块细化加速算法, 对图像进行分块细化计算, 之后进行边界修正和图像重组, 提高了经典算法的执行效率, 因而对解决上述基于 DEM 的河道中心线自动提取问题非常适用。

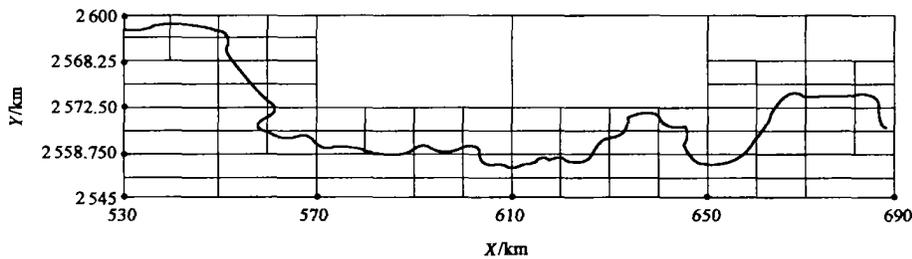


图 1 西江干流河道高程栅格数据空间分布图(连贯弯曲部分)

Fig. 1 Spatial distribution of the DEM grids data of West River trunk

但是, 在如何对图像进行划分的问题上, 该法采用“将大幅图像逻辑上划分成满足内存空间要求的等规模子块”的方式对图像进行了划分, 对硬件配置有一定的依赖性。同时, 子块单元太小, 势必增加了边界修正工作上的计算开销。为此, 我们对基于分形图像编码的四叉树方法<sup>[13]</sup>对图像逻辑上的划分进行了研究, 同时可给出其无效值区域分离效率的评价公式。鉴于篇幅限制, 在此不作展开, 图 1 同时给出了四叉树深度为 4 的情况下的逻辑划分示意图。

引入 GIS 矢量线的表达方式后, 利用矢量线的中间节点间的相互位置关系可以对河道流向进行如下近似的数值表达: 河道中心线上相邻两节点间连线的斜率代表了这两点间河段上处处的流向, 与之垂直(正交)的方向表

示河道断面的方向, 即这两点间的河道断面方向处处相等。

### 2.3 河道分段

河道分段是对河道中心线点序列进行等距离划分的过程, 断面采样间距与原始 DEM 数据的栅格大小应当相差不大。

目前尚未确定高程断面在河道边界上的起始点, 暂用其在河道中心线上的交叉点及该点的方向(斜率)进行数值表达。

如图 2 所示,  $P_n$  为中心线节点,  $S_n$  为欲截取的断面点,  $K_n$  为斜率, 分段处理中, 首先根据相邻两节点间连线的垂线斜率来确定河道断面的大致方向, 自河道中心线首节点至尾节点, 沿之前预定的河道流向, 以沿河断面采样间距为步长, 顺次计算下一断面点(断面与河道中心线的交点)的位置和方向(代表其断面方向, 与该点处河道流向垂直), 网格结果表明<sup>①</sup>, 河道流向变化比较缓和的地方, 断面剖分结果良好(图 3); 流向变化急剧的地方, 会出现邻近断面的交叉(图 4), 为了保证等间距条件同时兼顾对流向变化有较好的适应性, 分段处理之后, 采用平滑方法对得到的断面(点)方向进行了改进处理。

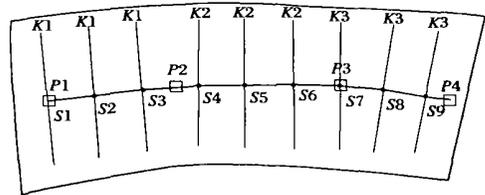


图 2 断面截取示意图

Fig. 2 Sketch map for sections interception

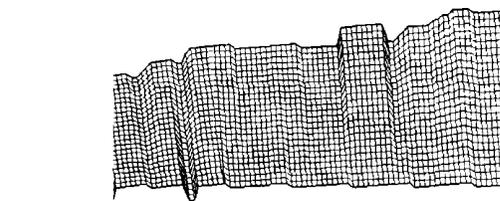


图 3 河道平缓处, 效果较好

Fig.3 Output meshes in smooth area

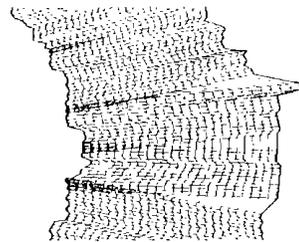


图 4 河道拐弯处, 出现交叉

Fig.4 Output meshes at the corner with intersections

开始, 采用相邻(5 个)断面移动平均方法, 对所有的河道断面顺次进行方向平滑, 结果如图 5、图 6 所示。对图 5 中可能出现斜率为无穷大的情况, 参与斜率均值平滑之后的结果表明, 斜率绝对值太大的断面对其相邻断面斜率产生突变影响, 因而导致交叉, 效果仍不理想。而对于图 6 中断面斜率绝对值较小处, 避免了拐弯引起的断面交叉, 平滑效果较好。

在尽量保证等间距划分河道断面的条件下, 对断面方向进行平滑处理是解决邻近断面交叉的一种可行方案, 但基于斜率的平滑方法尚有不足。

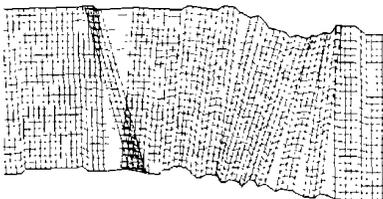


图 5 断面斜率值较大处, 平滑后产生交叉

Fig.5 After slope-based smoothening in planar area

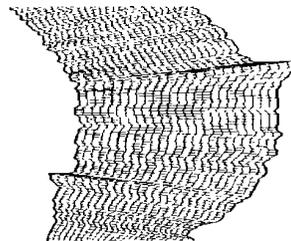


图 6 断面斜率值较小处, 平滑效果较好

Fig.6 After slope-based smoothening at the corner

① 文中所有的网格剖分效果图, 是算法剖分结果在 TECPLOT9.0 软件中自动生成的, 图中沿河道流向的线条是为构成网格而虚拟连接起来的, 与河道流向正交方向的线条代表河道断面, 网格点与程序计算中的点(断面点)一一对应, 论文页面水平方向与河道平面坐标系 X 轴平行, 页面竖直方向与 Y 轴平行。

实践表明: 角度比斜率更为直接的对断面方向的连续性过渡进行了刻画, 且可以很好地解决斜率无穷大时的数值表达问题, 因而提出了一种基于角度的河道断面移动循环平滑方法, 平滑的过程中, 同时进行交叉性判断, 直到整条河道再没有交叉断面存在或者循环次数大于给定值为止, 证明平滑效果已经较好。

经过基于角度的平滑处理后, 剖分断面达到了平滑过渡的目标, 对河道方向变化的各种情况都能很好的适应, 网格剖分效果较为理想。

### 2.4 断面高程有向插值

河道分段是对整体河道横向进行了离散化处理, 沿着已划分的断面(点斜式表达的)进行河道纵向的离散化: 首先, 确定任一断面在河道边界上的起始位置后, 对每条断面进行等间距点采样; 其次, 运用右手定则统一沿断面采样的方向, 消除“拧绕”现象; 最后进行断面采样点高程插值。

断面中间点的方向和位置已知, 从该点沿两个相反方向向外搜索河道边界, 每次搜索到新的断面点之后, 根据其坐标和 DEM 头文件信息求解其落入的 DEM 栅格, 河道内任一点所落入的 DEM 栅格的 4 个角点的高程必为有效值(非 -9999), 搜索的过程中, 若搜索到的点所在的 DEM 栅格有任一角点为无效值(-9999), 表明已到达河道边界以外, 于是返回取上一搜索点为河道边界点, 否则, 继续向外搜索。

后续水动力模型中的计算和推演需要始终保持各断面上相应顺序号的采样点之间的对应关系, 沿断面取样必须保证方向性的统一, 比如总是从河道的左岸取向右岸。因而需要在某种统一的关系下, 从已求得两个断面边界点中确定出断面高程插值的起始点, 否则表现在格网剖分结果中就会出现图 7、图 8 中所示的“拧绕”现象, 实际上反映了邻断面上采样点在采样次序上的不统一。

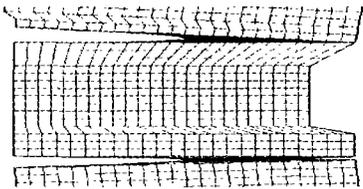


图 7 网格中出现的“拧绕”现象

Fig.7 Wrest phenomenon occurred in the grids

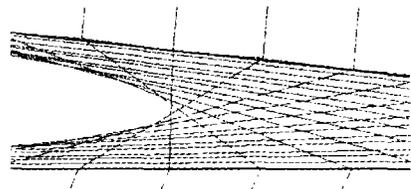


图 8 “拧绕”现象局部放大图

Fig.8 Wrest phenomenon magnified in the grids

为消除网格剖分中的这种“拧绕”现象, 有如下约定: 任一断面上的采样方向与该处流向必须始终满足右手定则关系(大拇指指向采样方向), 接下来从任一断面上的两个端点中判断出起点和终点, 从而确保所有河道断面上采样的方向统一性。

据右手定则, 任一断面上的两个边界点, 其已知断面点和其邻近下断面点四者的空间分布特征决定了断面(采样)的方向, 此外, 该断面的斜率取值情况对这种方向性的判定也会产生影响。于是, 建立了图 9、图 10 中所示的坐标系, 来辅助断面采样方向的判定。

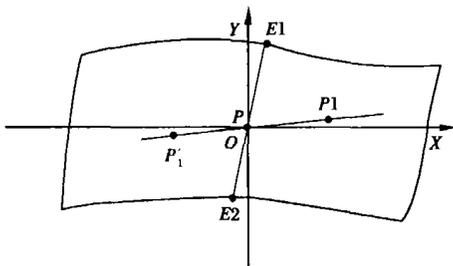


图 9 插值方向确定(斜率绝对值大于阈值)

Fig.9 Coordinate system 1 for judgments

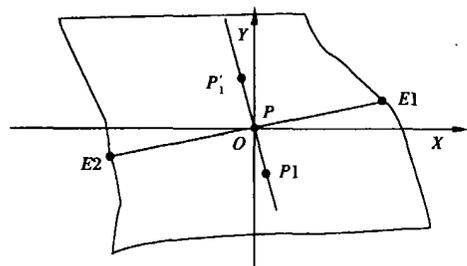


图 10 插值方向确定(斜率绝对值小于等于阈值)

Fig.10 Coordinate system 2 for judgments

以邻近断面点间的空间坐标一阶差分因子  $\overline{\Delta X}$  或  $\overline{\Delta Y}$  来判定断面采样的方向。  $\overline{\Delta X} = P_x - P1_x$  或  $\overline{\Delta X} =$

$P_x - P'_x$ ,  $\Delta Y = P_y - P'_y$  或  $\Delta Y = P_y - P'_y$  ( $P_x$ 、 $P_y$  分别为  $P$  点  $x$ 、 $y$  坐标,  $E_1E_2$  代表河道断面), 在不同断面斜率取值情况下, 差分因子有如下特点: 斜率绝对值较大的情况下 (图 9),  $\Delta X$  的绝对值较大, 而  $\Delta Y$  绝对值较小, 在零左右摆动; 斜率绝对值较小的情况下 (图 10),  $\Delta Y$  的绝对值较大, 而  $\Delta X$  绝对值较小, 在零左右摆动, 因子值在零左右的振动正是导致断面插值方向判定失效的主要原因, 实际上说明利用该因子的正负性不足以判定采样方向。因而可用某个给定的斜率阈值 (如 0.5) 将所有断面划分为大小两类后, 对此选取适当的一阶差分因子进行断面采样方向判定。

图 9 中, 断面斜率绝对值较大, 采用  $\Delta X$  作为判定因子: 如果下一断面点为  $P_1$ ,  $\Delta X > 0$ , 则取 0、1 两点中  $Y$  值较大的点作为断面起点; 下一断面点为  $P'_1$  的情况下,  $\Delta X < 0$ , 断面起点的判定正好相反。

图 10 中, 断面斜率绝对值较小, 采用  $\Delta Y$  作为判定因子: 如果下一断面点为  $P_1$ ,  $\Delta Y < 0$ , 则取 0、1 两点中  $X$  值较大的点作为断面起点; 下一断面点为  $P'_1$  的情况下,  $\Delta Y > 0$ , 断面起点的判定正好相反。

断面采样方向确定后, 再进行断面采样点上的高程插值。GIS 中常用的插值方法较多, 如: 加权平均法、多面函数法、移动曲面拟合法、有限元法、最小二乘插值法等, 此外还有一些改进的插值方法, 见文献[14]。大量实验证明, 由于实际地形的非平稳性, 插值的精度主要取决于原始采样点的密度和分布以及地形特征顾及与否, 对于相同的原始数据, 不同的内插方法对 DEM 的精度并无显著影响<sup>[4]</sup>, 这里选用其中的双线性多项式内插方法来对河道断面上的采样点进行高程插值。该法的优点是便于适应河道边界, 程序算法复杂度低, 计算效率高。以下简要介绍该插值方法:

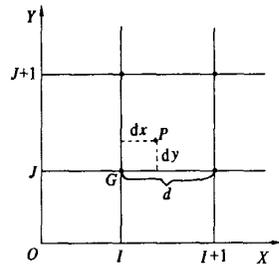


图 11 双线性多项式内插算法原理图

Fig. 11 Bi-linear multinomial interpolation method

如图 11 所示, 点  $G(I, J)$  处的高程值以  $V(I, J)$  表示,  $dx$ 、 $dy$  是点  $P$  到其所在格网的左下角点  $G(I, J)$  间的  $X$ 、 $Y$  坐标值之差, 对格网大小  $d$  归一化后,  $\Delta X = dx/d$ ,  $\Delta Y = dy/d$ , 则点  $P$  处的高程值可以近似表示为

$$V(P) = (1 - \Delta X)(1 - \Delta Y)V(I, J) + \Delta X(1 - \Delta Y)V(I + 1, J) + (1 - \Delta X)\Delta YV(I, J + 1) + \Delta X\Delta YV(I + 1, J + 1)$$

根据断面上采样点的地理坐标, 计算出其所在的地理坐标网格, 从 DEM ASCII 文本中检索到对应网格点高程, 参与插值计算。

### 2.5 结果导出

按行顺次导出各断面上采样点的地理坐标  $X$ 、 $Y$  和高程值  $Z$  到 ASCII 文本文件中, 即格网剖分结果。在此网格剖分结果上可以方便地进行等距变换, 使得每个四边形网格的边长尽可能相等 (即提高网格的正交性), 如泊松变换<sup>[15]</sup>等, 从而网格剖分效果更佳。

## 3 结果评价及验证

给出河道贴体网格自动剖分效果图 12、图 13(a) ~ 图 13(f) (在 TECPLOT9.0 中显示)。

图 12 与图 1 中原始河道 DEM 栅格图像相对比, 可以证明该算法具有很好的贴边性质。图 13(a) ~ 图 13(d) 反映了其对河道流向变化的自适应性很强, 作为补充, 图 13(e)、图 13(f) 表明经过泊松等距变换, 网格质量还可得到更好的改善。

为验证算法插值结果的正确性和精度, 随机抽取若干河道断面, 并根据其上若干采样高程点的位置, 在 ArcScene 软件中查询得到对应的高程值, 并与该算法的对应插值结果相对照, 结果发现, 差别较小, 且这种误差对后续模型演算的精度和结果影响可以忽略, 鉴于篇幅限制, 在此, 没有给出相应的验证图表, 仅以西江河底高程急剧变化的某局部河段为例, 给出了其贴体网格剖分效果图 14 (in TecPlot9.0) 和原始 3D 地形效果图 15 作为示意。

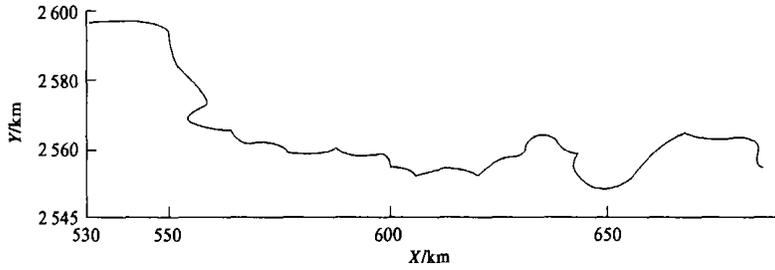


图 12 贴体网格剖分全图 (对照图 1)

Fig. 12 Output meshes of the whole river trunk (contrasted with Fig.1)

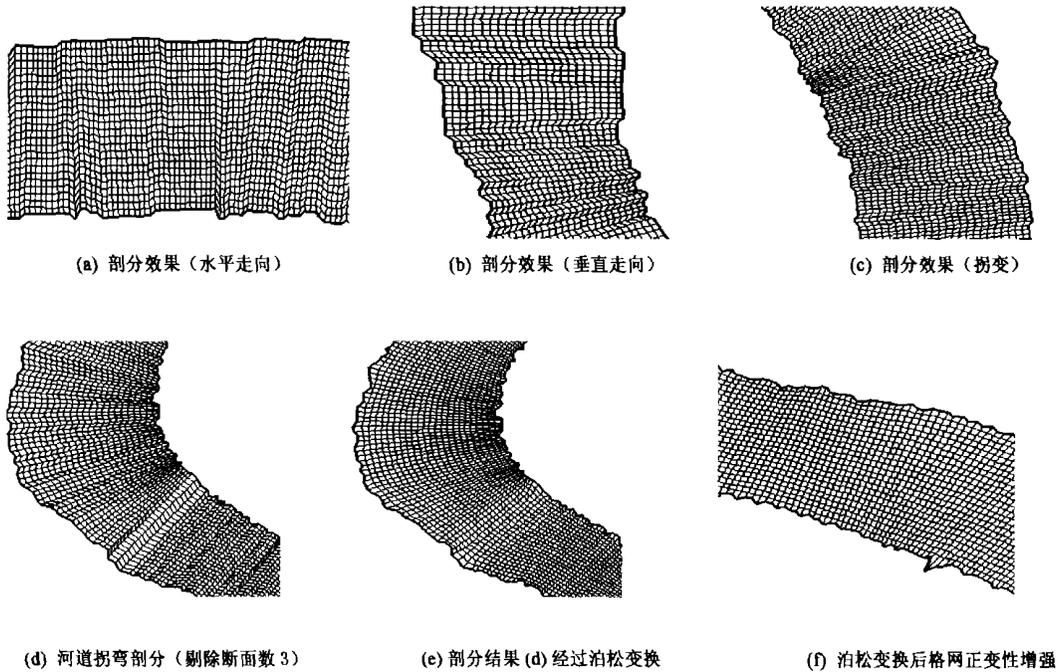


图 13 河道贴体网格自动剖分效果

Fig. 13 Output meshes of the automatic generation algorithm in representative areas of the river



图 14 插值高程沿程变化效果图

Fig. 14 Spatial distribution of the interpolated river



图 15 ArcScene 中 3-D 效果图 (对应图 14 中河段)

Fig. 15 Original 3-D spatial distribution of the same part

表 1 给出算法程序在 3 种不同硬件配置的微机上运行效率测试结果: 其中, 输入的西江河道 DEM ASCII 文件大小约 50 M 字节, DEM 网格精度为 30 m, 河道中心线文件为 100K 字节大小, 节点 1925 个, 沿

表 1 算法程序计算效率测试结果

Table 1 Testing outcome of the implementation efficiency of the algorithm procedure

机 名	CPU 主频/(MHz)	RAM 容量/(M byte)	计算时间均值
实达品牌机	1 000	256	5'20"
DELL 品牌机	1 700	256	3'10"
联想品牌机	2 400	256	2'20"

河断面间距 30m, 断面采样点数 25。西江河道全长约 220 km, 剖分断面总数为 7 323 个, 剔除交叉断面数 13, 实际导出断面数 7310。

结果表明, 自动化方法下的网格生成效率较高, 能够很好地满足实际生产和研究的需求。

## 4 结 论

断面剖分方法生成贴体网格是比较经典的代数方法的思想, 但是, GIS 技术特别是数字高程模型 (DEM) 的引入, 使得文中论述的算法有其自身的特点和创新之处:

(1) 利用 GIS 矢量线的节点间空间位置关系, 对河道任意位置上的流向进行了较高精度的数值近似表达, 进而实现了河道断面的自动剖分。

(2) 严格保证剖分网格对河道流向的自适应性特征, 使用一系列原创算法, 有效解决了网格交叉、拧绕等问题。

(3) 类比于 GIS 中地表模型的重建与分析<sup>[16]</sup>过程, 基于 DEM 高程插值, 实现了贴体性网格的剖分。

(4) 水质分析计算模型在每个河道上的计算结果如水深、流量、流速、过水面积等, 可以方便地叠加到 GIS 矢量和栅格数据之上进行表现, 在此, 二者始终保持着空间位置(x, y 坐标)上的统一。

(5) 算法的自动化程度和计算效率较高, 数据量不大, 可满足大型天然河道上相应水动力模型推演的精度要求。

### 参考文献:

- [1] 林超强. 二维及三维贴体网格的一种生成方法[J]. 空气动力学学报, 1994, 12(1): 8- 14.
- [2] 唐毅, 吴持恭, 廖华胜, 等. 复杂边界三维贴体网格的生成及其应用[J]. 成都科技大学学报, 1996(2): 25- 31.
- [3] 李德仁, 周月琴, 金为铄. 摄影测量与遥感[M]. 北京: 测绘出版社, 2001. 163- 164.
- [4] 王家耀. 空间信息系统原理[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 187- 194.
- [5] Galtier, Jerome (Mc Gill Univ.). Automatie-partitioning techniques for solving partial differential equations on irregular Adaptive meshes[A]. Proceedings of the International Conference on Supercomputing[C]. New York: Publisher ACM press, 1996. 157- 164.
- [6] Heber, Gerd, Heber G, Bisvas R, et al. New approach to parallel dynamic partitioning for adaptive unstructured meshes[A]. Proceedings of the Intemational Parallel Processing Symposium[C]. IPPS/SPDP proceedings, 1999, 360- 364.
- [7] 任立良, 刘新仁. 数字高程模型信息提取与数字水文模型研究进展[J]. 水科学进展, 2000, 11(4): 463- 469.
- [8] GIS By ESRI™(www.esri.com) Using\_ArcGIS\_3D\_Analyst.pdf[EB/OL]. 2001.
- [9] 樊红, 詹小国. ARC/INFO 应用与开发技术(修订版)[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002. 231- 242.
- [10] 孙家广, 杨长贵. 计算机图形学(第三版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998. 580- 582.
- [11] Lam Louisa, Lee Seong-Whan, Suen Ching Y. Thinning methodologies-A comprehensive survey[J]. Source: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(9): 869- 885.
- [12] 陈国军, 叶飞跃. 大幅图象的分块细化加速算法[J]. 计算机工程与应用, 2001, 23: 101- 102.
- [13] 付炜. 地学图形数据的四叉树处理方法研究[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 1998, 26(增刊): 104- 108.
- [14] Andres Almansa, Frederic Cao, Yann Gousseau, et al. Interpolation of Digital Elevation Models Using AMLE and Related Methods[J]. Source: IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND RS, 2002, 40(2): 314- 324.
- [15] 蔡荣泉, 陈义根. 对解泊松方程数值生成网格方法的改进[J]. 舰船科学技术, 1996, 2(1): 10- 14.
- [16] 谢传节, 万洪涛. 基于四叉树结构的数字地表模型快速生成算法设计[J]. 中国图象图形学报, 2002, 7(4): 394- 399.

## Research on a GIS-based automatic generation algorithm of body-fitted meshes adaptive to river terrain

JIANG Zhi-jun<sup>1</sup>, LI De-ren<sup>1</sup>, WANG Wei<sup>1</sup>, LI Lan<sup>2</sup>, YI Hua-rong<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. School of Hydraulic and Electric Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** A new method based on geographic information system (GIS) is presented to generate body-fitted meshes automatically. First, a principle is put forward to express the variable flow direction numerically in close approximation, which is based upon the spatial relationship between nodes of the river centerline; then, sections vertical to the flow direction are partitioned throughout the river, and a smoothening method is worked out to prevent overlapping sections from coming into being. A uniform relationship between the sampling direction and the flow direction at anywhere should be guaranteed in order to eliminate “wresting” phenomena in output results and the “right-hand” rule is applied here. And then, an elevation-based interpolation algorithm is designed to reconstruct the landscape model of the river, which is in the form of the output body-fitted meshes. At last, results and tests of the algorithm in pictures and tables are also provided, which proves the algorithm to be well body-fitted and efficient.

**Key words:** geographic information system; digital elevation model; river; body-fitted meshes; automatic generation; computational methods

## 书 讯

### 《水资源管理学导论》正式出版

由中国农业科学院农业资源与农业区划研究所姜文来、唐曲、雷波等撰写的学术专著《水资源管理学导论》，已于2004年11月由化学工业出版社发行。

本书在界定水资源管理学基本概念的基础上，对水资源管理学的基本理论进行探讨，然后专题阐述水资源管理的各个领域，最后展开案例研究。全书共分十九章，第一章，水资源管理学概述，界定了水资源管理学的内涵、研究内容、研究进展和与其他相关学科的关系；第二章，水资源管理学的理论基础，分别阐述了水资源可持续利用理论、水资源复合系统理论、生命周期理论和水资源管理学的管理学基础；第三章—第十七章，专题论述，论述了水资源的数量管理、质量管理、经济管理、权属管理、规划管理、工程管理、地下水资源管理、国际水资源管理、投资管理、行政管理、风险管理、安全管理、数字化管理和其他水资源相关管理；第十八章和第十九章，案例研究，以首都圈农业水资源、民勤水资源可持续利用展开研究。

本书是国内外首部系统论述水资源管理学的专著，可供水利、地理、环境、生态、资源、环境经济、生态经济、资源经济等有关专业的科研、教学参考，也可作为水资源管理系统培训的高级教材。全书562千字，16开本，定价48.00元。