

数据库更新中河流与山谷线一致性检测

刘万增¹⁾ 陈军¹⁾ 邓喀中²⁾ 赵仁亮¹⁾ 程涛^{3),4)}

¹⁾(国家基础地理信息中心,北京 100044) ²⁾(中国矿业大学环测学院,徐州 221008)

³⁾(香港理工大学土地测量与地理资讯学系,香港) ⁴⁾(中山大学地理与规划学院,广州 510275)

摘要 针对数据库更新中常见的河流偏离山谷线这一空间不一致问题,提出了一种基于矢量投影法的快速、准确地提取山谷点的方法,并利用提取出的山谷点来检查与其相关河流的空间关系的一致性;最后利用 VB6.0 + MO 实现了该方法,并进行了大量的数据测试,取得了较好的效果。

关键词 空间一致性 空间数据库更新 空间关系 山谷线

中图法分类号:P208 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)05-1003-06

Detecting the Spatial Inconsistency between the Updated Rivers and Valleys

LIU Wan-zeng¹⁾, CHEN Jun¹⁾, DENG Ka-zhong²⁾, ZHAO Ren-liang¹⁾, CHENG Tao^{3),4)}

¹⁾(Geomatics Center of China, No. 1 Baishengcun, Zizhuyuan, Beijing 100044)

²⁾(School of Environment & Spatial Informatics, China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008)

³⁾(Department of Land Surveying and Geo-Informatics, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong)

⁴⁾(School of Geography and Planning, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275)

Abstract In order to detect the spatial conflicts that rivers deviate from the valleys in the process of topographic database updating, a new algorithm using the vector projection method to quickly extract the valley lines related to the rivers is proposed. Based on the algorithm, a method to detect the inconsistency that rivers deviate from valleys is advanced. The above algorithm has been implemented by VB6.0 + MO, and achieved the better efficiency.

Keywords spatial consistency, spatial database updating, spatial relation, valley line

1 引言

在 GIS 数据库更新中,由于河流与等高线的更新周期不一致,从而常常导致其间空间冲突的产生^[1],例如等高线入水、河流爬坡、河流偏离山谷线等。其中,河流偏离山谷线表现为二者拓扑关系、方向关系、度量关系、高程等的不一致,是比较常见的空间冲突类型。现有的空间冲突的检测方法主要针对数据库中一般要素间的空间关系冲突^[2-6],没有

考虑到河流与山谷线的空间关系的特殊性。在数据库中,由于山谷线一般不显性表示,而是隐含在等高线数据中,因而不能直接计算其与河流的空间关系,并判断其合理性,而是需要利用现有的等高线数据来快速、准确地提取与河流相关的山谷线。如今利用等高线提取山谷线的算法主要有等高线曲率最大判别法、等高线骨架化法和地形断面极值法等^[7-9]。其中等高线曲率最大判别法和地形断面极值法,由于只估计了等高线的局部特征,因此提取的山谷点受等高线局部噪音影响较大;骨架化法因将山谷线

基金项目:国家自然科学基金面上项目(40701141);国家自然科学基金重点项目(40337055);国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAB10B01,2006BAJ09B02)

收稿日期:2006-02-27;改回日期:2006-08-14

第一作者简介:刘万增(1972~),男,高工,2000年获博士学位。主要从事空间数据库更新方面的研究。E-mail:lwnzg@163.com

两侧的地形视为对称变化,故也与实际地形不相符合。此外,黄培芝提出了一种基于地形表面流水分析与等高线几何分析相结合的提取山谷线的方法^[7]。Fua 提出了利用河流与地貌的空间相关性自动提取灌溉网络的方法^[10]。但由于以上方法都是针对整个等高线数据层,需经过全局计算才能提取山谷线,因此时间消耗相当大。

而检测等高线与河流的空间一致性,则只需

提取与河流空间相关的山谷线,由于这既能节省大量的计算时间,又可直接将提取的山谷线与河流进行比较,以判断二者的关系的合理性,从而可提高空间冲突检测的效率。如图 1 所示,本研究基于矢量空间,将河流作为知识,利用地貌与河流的空间关系,采用矢量投影方法,通过局部计算来提取与河流空间相关的山谷线,并用于检测二者的空间一致性。

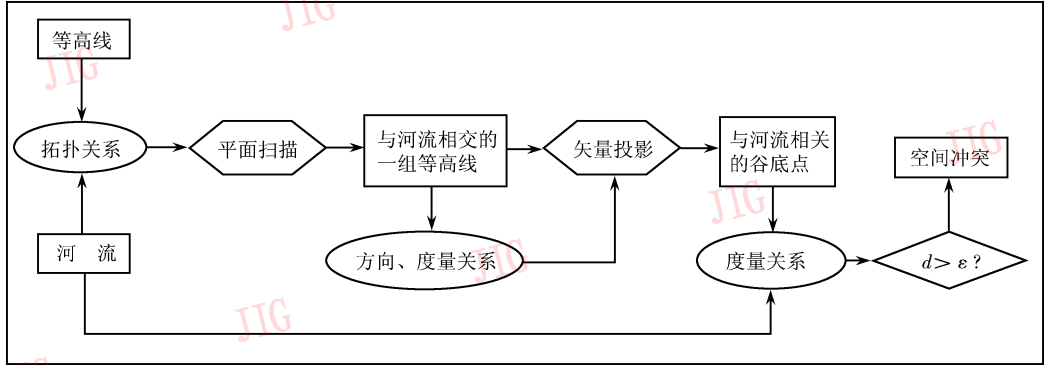


图 1 河流与山谷线一致性检测方法

Fig. 1 The method for detecting spatial inconsistencies between rivers and valley lines

2 等高线与河流的空间关系约束

在现实世界中,河流与地貌的关系符合“水往低处流”的自然规律,且二者相互制约、相互作用。由于局部地貌的变化常常会改变周围河流的分布,从而会造成河流边界扩张或收缩、河流改道等;同样,河流的变化也会对局部地貌产生反作用,例如,流水侵蚀、泥沙淤积会对该区域地貌产生重要的影响,河流与地貌间这种空间相关性决定了二者正确的空间关系是^[1,10]:①河流沿流向从地势高的地方流向地势低的地方;②河流沿河床横断面方向落在河床最低处;③河流水面沿河床横断面方向应当是水平的。

如果空间数据库中地貌形态用等高线表示,则自然界中河流与地貌合理的空间关系映射到数据库中可转换为河流与等高线的空间关系约束,约束分以下 3 种类型:

(1) 拓扑关系约束,包括以下 4 个拓扑关系约束:

①与河流相关的等高线必须与河流相交,且只有一个交点;②山谷点一定在等高线上;③山谷点应该与河流和等高线的交点重合;④山谷线应当与河

流部分叠置。

(2) 方向关系约束,包括以下 5 个方向关系约束:

①山谷点是等高线上局部最靠近上游的点;②在山谷点处,河流的流向与等高线的法线方向近似一致;③与河流相交的等高线局部在河流两侧延伸方向与河流走向近似平行(即呈“U”字形延伸)或与河流走向成锐角(即呈“V”字形延伸);④河流流向总是从高程值大的等高线到高程值小的等高线;⑤山谷线延伸方向与河流流向平行。

(3) 度量关系约束河流与山谷线的距离应为零或小于一定阈值。

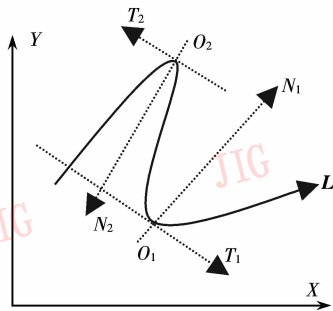
3 矢量投影法提取山谷点的原理

图 2(a)中,对于任意有向曲线 L ,经过局部曲率最大点 O_1, O_2 的法线 N_1, N_2 将曲线划分成若干单调的曲线段,如果将坐标轴进行旋转,使 Y 轴与法线 N_1 方向一致,则局部曲率最大点 O_1, O_2 实际上为极值点,不难证明,与法线 N_1, N_2 相交的两曲线段中一条单调递减,另一条单调递增,形成“V”字形或“U”字形,若二者在法线方向上的投影方向相反,则“V”字形或“U”字形的顶点 O_1, O_2 为正反投

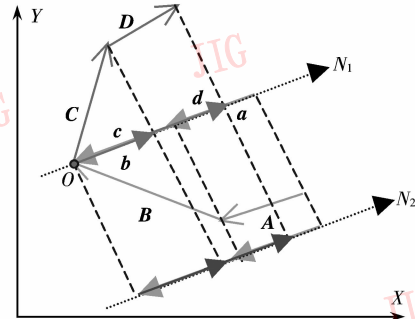
影方向的转点。

图 2(b) 中, 经过组成“U”字形曲线的矢量 A 、 B 、 C 、 D 的首末端点向投影轴 N_1 作垂线, 垂足之间的线段 a 、 b 、 c 、 d , 即为矢量在该轴上的投影, 其中

c 、 d 方向与投影轴方向相同, 投影为正, a 、 b 方向与投影轴方向相反, 投影为负, 正反方向的转点为点 O 。图 2(b) 中投影轴 N_2 由 N_1 平移得到, 若以 N_2 为投影轴, 则 A 、 B 、 C 、 D 的投影值不变。



(a) 表示对任意“V”或“U”字形有向曲线被经过“V”或“U”字顶点的法线切割得到的两曲线段在法线上的投影方向必然相反



(b) N_1 为投影轴, 先将 N_1 平移后得到投影轴 N_2 , 再以 N_2 为投影轴, 投影方向不变

..... 法线 N 切线 T 垂线

图 2 矢量投影原理

Fig. 2 The principle of vector projection

不难发现, “V”字形或“U”字形曲线矢量投影的特点是: 顶点两侧的曲线在与过该顶点的法线同向的任意直线上的投影方向相反。

由于山谷点处等高线局部的形态特征一般呈“U”字形或“V”字形且近似对称于山谷线^[10], 因而若将组成等高线的线段看成是首尾相接的矢量, 则同一条等高线在山谷线两侧线段矢量在山谷线上投影的方向应当相反, 而正反方向的转点即是山谷点。从第 1 节可以看出, 如果河流与山谷线关系正确, 则二者关系应为叠置关系, 其交点应与山谷点重合。如果河流偏离了山谷线, 一般是河流相对山谷线发

生了平移, 则二者应当近似平行, 即河流与等高线的交点同时沿着等高线朝着河流的下游方向偏移一段距离, 此时, 以河流作为投影方向对投影结果没有影响。图 3 中, 过河流上与等高线相交的线段作一直线, 用于近似代替河流, 并作为投影轴 X 。若以该线段所表示的河流流向为正向, 其方位角用 α 表示, 将等高线上的线段看成是首尾相接的一组矢量, 以 $R_{1-2}, R_{2-3}, \dots, R_{(k-1)-k}$ 表示, 其方位角分别为 $\alpha_{1-2}, \alpha_{2-3}, \dots, \alpha_{(k-1)-k}$, 长度分别为 $l_{1-2}, l_{2-3}, \dots, l_{(k-1)-k}$, 将 $R_{x(i-1)-i}$ 定义为矢量 $R_{(i-1)-i}$ 在 X 轴上的投影, 则有

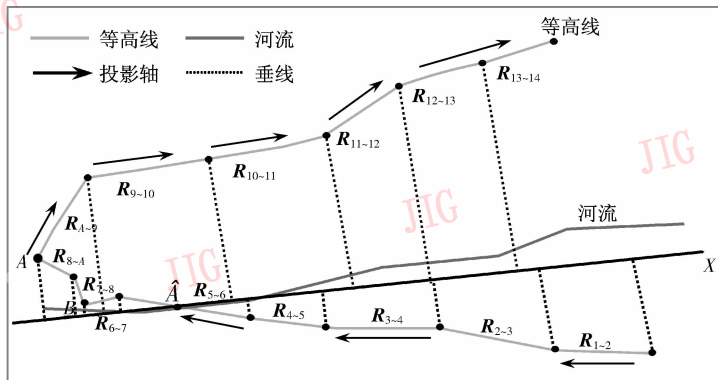


图 3 采用矢量投影法提取山谷点的原理

Fig. 3 The principle of extrasting the valley points by the vector projection method

$$\mathbf{R}_{x(i-1)-i} = l_{(i-1)-i} \times \cos(\alpha_{(i-1)-i} - \alpha) \quad (1)$$

如果 $\mathbf{R}_{x(i-1)-i} > 0$, 则投影方向为正, 否则当 $\mathbf{R}_{x(i-1)-i} < 0$ 时, 投影方向为负。式(1)中, 若, $L_{(i-1)-i}$ 为正值, 则对投影方向的符号没有影响, 判断投影方向时可以只比较 $\cos(\alpha_{(i-1)-i} - \alpha)$ 的值即可。从图3可以看出, 矢量 $\mathbf{R}_{1-2}, \mathbf{R}_{2-3}, \dots, \mathbf{R}_{8-A}$ 在 X 轴上的投影均与 X 轴方向相反, 而矢量 $\mathbf{R}_{A-9}, \mathbf{R}_{9-10}, \dots, \mathbf{R}_{(k-1)-k}$ 在 X 轴上的投影则与 X 轴方向相同, 正反投影方向的转点 A 即为该条等高线的山谷点。

4 提取与河流相关的山谷线的算法

算法步骤如下:

(1) 以河流作为背景知识, 计算与该河流相交的一组等高线

根据河流与等高线间的拓扑关系约束①、②、③可知, 与河流相关的山谷点必然位于与其相交的等高线上, 因此, 判断河流与等高线的相交关系可以采用平面扫描算法, 通过求交计算来求出和同一条河流相交的等高线及交点^[1]。

(2) 根据等高线的高程属性确定河流走向

根据河流与等高线的方向关系约束④, 先按照组成河流的线段流方向, 对步骤(1)计算出的交点排序, 然后根据与交点对应的等高线的高程值由大到小地顺序确定河流走向。

(3) 用矢量投影法搜索山谷点

根据等高线与河流的方向关系约束①确定山谷点的搜索方向, 即首先设定搜索范围, 然后采用矢量投影法从河流与等高线的交点所在的线段开始, 沿着与河流流向相反的方向, 计算等高线上线段在 X 轴上的投影, 而与投影方向相反的相邻线段的公共端点即为山谷点。对同一条等高线, 由于在其与河流交点附近可能存在几个山谷点, 因此要根据河流与山谷点的空间相关性制定以下选取原则: ① 与该河流相关的山谷点与河流和等高线的交点最近; ② 与该河流相关的山谷点应在河流的上游方向(以河流和等高线的交点为准)。

在山谷点搜索的过程中, 如果在给定的搜索范围内得不到山谷点, 那么一般存在以下有两种情况:

一是虽然存在与该河流相关的山谷点, 但在该点前后, 线段在 X 轴上的投影方向相同, 此时采用

矢量投影法则无法搜索到该山谷点, 但这种情况比较少见(例如图4中点A), 其处理可以采用局部最大曲率法进行辅助判断; 二是在搜索范围内找不到山谷点, 也不存在大于给定阈值的局部最大曲率点, 如果扩大搜索范围得到的却是与该河流不相关的山谷点C, 则可以将与该等高线相邻的两条等高线上的山谷点连线与该等高线的交点作为其上的山谷点(例如点B)。

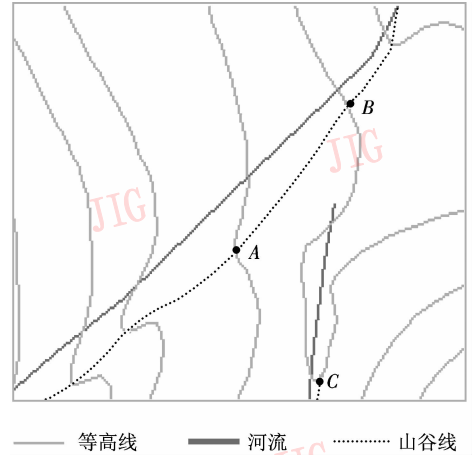


图4 特殊情况处理

Fig. 4 The two special cases to deal with

(4) 先将计算出的山谷点按照其所对应的等高线的高程值由高到低进行排序, 然后将相邻山谷点连接起来即得到近似的山谷线。

5 山谷线与河流不一致的探测方法

目前进行山谷线与河流的空间不一致的探测主要采用目视判读的方法, 由于其依赖于作业员的经验, 因而效率低, 且容易出现错判、漏判。其判断过程一般可分为以下3步:

(1) 通过观察与河流相交的一组等高线的整体形态特征来判断出近似山谷点和山谷线;

(2) 目估山谷线和河流之间的偏离的程度;

(3) 根据经验判断河流是否偏离山谷线。

如果利用计算机模拟以上过程进行山谷线与河流的空间不一致探测, 则第1步就需要先通过以上的算法来计算出山谷点和近似的山谷线, 对于曲率变化较大的河流, 由于这些近似的山谷线与真实的山谷线差异较大, 因而主要以山谷点作为判断依据; 然后, 计算山谷线与河流之间的偏离程度, 本研究采用山谷点到河流的最小垂距作为

判断标准,如图 5 所示, l 表示交点到山谷点的距离, d 表示山谷点到河流的最小垂距。从视觉效果看,利用山谷点到河流的垂直距离作为判断河流是否偏离谷点线的标准更符合人的认知习惯;最后,判断河流是否偏离山谷线,如果某一山谷点到河流的最小垂距大于给定阈值,则将该点标示为河流偏离山谷线冲突。

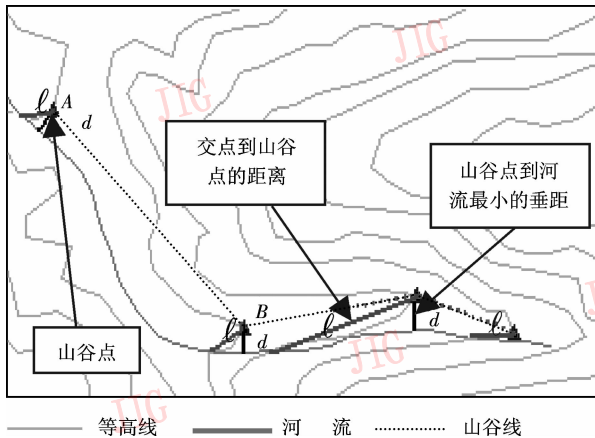


图 5 利用山谷点检测其与相应河流的空间一致性

Fig. 5 Detecting the spatial consistency between rivers and valleys

6 距离阈值的确定

(1) 山谷点到河流垂距的确定

确定山谷点到河流的垂距时,首先根据规范设定距离阈值。GB/T18315-2001 规定,1:5 000 ~ 100 000 比例尺的地形图,对于山地、高山地,地物点相对最近野外控制点的图上平面点位的中误差不得大于 0.75mm,最大误差可取中误差的两倍。对于比例尺为 1: M ($5000 \leq M \leq 100\ 000$) 的地形图,其平面点位的中误差为 $(0.75 \times M/1\ 000)$,最大误差不得超过 $(2 \times 0.75 \times M/1\ 000)$ 。根据上述规定,本程序中采用 50m 作为距离阈值。

(2) 山谷点搜索范围的确定

山谷点搜索范围的设定主要取决于地形图的比例尺、地貌类型、时态等,而河流允许的平移距离则取决于地形图的比例尺,其确定方法同上。如图 6 所示,在河流平移距离相同的情况下,若山谷谷口越狭窄,两侧山体坡度越大,则河流与山谷线交点偏离山谷点的距离 s 越大。如果河流与等高线的采集时间相同,则河流偏移山谷线主要是由位置误差引起的,此时 s 的确定方法如下:

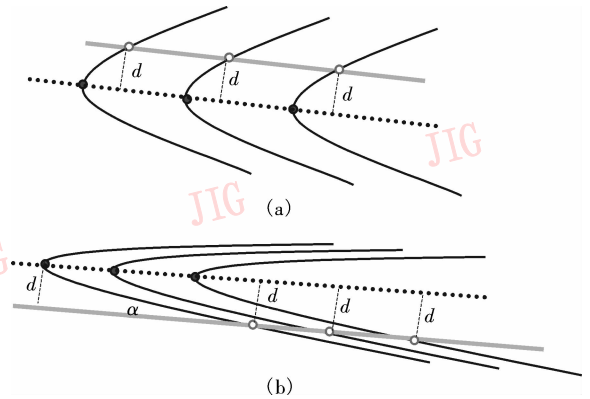


图 6 距离阈值与地貌特征的关系

Fig. 6 The threshold is related to the relief character

假设河流流向与等高线相交的交角为 α ,则交点与山谷点的距离可以近似表示为 s_0 ,根据图 7 可见, $s_0 = d/\sin\alpha$,因等高线为曲线,故其实际长度大于 s_0 ,为了尽可能地搜索到所有的山谷点,对 1:50 000 地形图,可取 $d = 100\text{m}$,取 $s = s_0 + d$ 作为搜索范围。

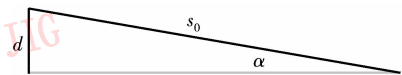


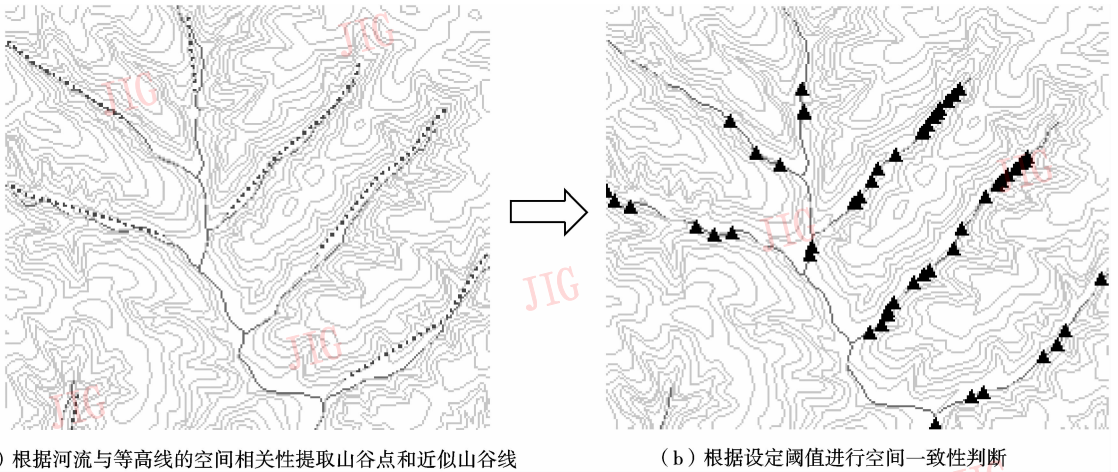
图 7 交点到山谷点近似距离确定

Fig. 7 The distance from the intersection point to the valley point

如果河流与等高线的采集时间不同,则河流与山谷线的关系复杂,由于此时河流偏离山谷线的距离很可能大于距离 d ,因此 $s = s_0 + d$ 一般取 $2s$ 作为搜索范围。

7 实验与应用

按照以上算法,利用 VB6.0 + Mapobject 编程实现了数据库更新中河流与山谷线空间一致性的自动检测。并在 P4 1.7G, RAM 128M 的台式机上进行了实验,实验数据为一幅 1:50 000 更新后的山区地形图,其中包括水系 (3.6MB) 与等高线 (5.5MB) 两层数据。(实验数据来自国家基础地理信息中心)。试验结果表明,河流与山谷线空间一致性检查时间消耗为 6s,检出率为 100%,正确率为 95.7%。图 8 为河流与山谷线空间一致性检测结果。



(a) 根据河流与等高线的空间相关性提取山谷点和近似山谷线

(b) 根据设定阈值进行空间一致性判断

图 8 河流偏离山谷线的检测

Fig. 8 The detection process of spatial inconsistency between the rivers and valley lines

8 结 论

众所周知,由于河流与地貌具有高度的空间相关性,因此在空间数据库中,要求等高线与河流保持合理的空间关系,不应出现地理适应性矛盾。本研究基于河流与等高线的空间关系约束,由于采用矢量投影法只需要进行局部的计算就可直接得到与河流相关的山谷点,从而使计算效率和准确性得到了提高。反过来也可利用这些山谷点,通过计算山谷点到河流的最小垂距来检测河流与山谷线的空间一致性。最后利用 VB6.0 + MO 实现了该方法,通过大量的数据测试证明了该方法是有效的。本文的方法适用于山区、高山区,但对于平原微丘区,其检测效果尚待实验验证,本人将就此做进一步地研究。

参考文献 (References)

- 1 Liu Wan-zeng, Zhao Ren-liang. A study on the automatic detecting of spatial conflict in river updating [A]. In: Proceedings of 8th Annual Conference of China Association for GIS [C], Beijing, China, 2004, 145 ~ 153. [刘万增,赵仁亮. 水系要素更新中空间冲突的自动检测研究 [A]. 见:中国地理信息系统协会第八届年会论文集 [C], 北京, 2004: 145 ~ 152.]
- 2 Chen Jun, Li Zhi-lin, Jiang Jie, *et al.* Key issues of continuous updating of geo-spatial databases [J]. Geomatics World, 2004, 2(5): 1 ~ 5. [陈军,李志林,蒋捷等. 基础地理数据库的持续更

新问题[J]. 地理信息世界, 2004, 2(5):1 ~ 5.]

- 3 Cockcroft C. User defined spatial business rules: storage, management and implementation-a pipe network [A]. In: Proceedings of the 10th Colloquium of the Spatial Information Research Centre [C], Otago, New Zealand, 1998:16 ~ 19.
- 4 Dahmani H K. Updating in GIS: towards a more generic approach [A]. In: Proceedings of the 20th International Cartographic Conference [C], Beijing, China, 2001:1463 ~ 1471.
- 5 Ubada T, Egenhofer M J. Topological error correcting in GIS [A]. In: M. Scholl and A. Voisard (Eds), Advances in Spatial Databases SSD'97 [C], Berlin, Germany. Springer, 1997:283 ~ 297.
- 6 Servigne S, Ubada T, Puricelli A, *et al.* A methodology for spatial consistency improvement of geographic databases [J]. Geoinformatica, 2000, 4(1): 7 ~ 34.
- 7 Huang Pei-zhi. A new method for extracting terrain feature lines from digitized terrain data [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2001, 26(3): 247 ~ 252. [黄培芝. 提取山脊线和山谷线的一种新方法 [J]. 武汉大学学报, 2001, 26(3): 247 ~ 252.]
- 8 Thibault D, Gold C M. Terrain reconstruction from contours by skeleton construction [J]. Geoinformatica, 2000, 4(4): 349 ~ 373.
- 9 Aumann G, Ebner H, Tang L. Automatic derivation of skeleton lines from digitized contours [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1991, 46(5): 259 ~ 268.
- 10 Fua P. Model-based approach to accurate and consistent 3-d modeling of drainage and surrounding terrain [A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition [C], San Juan, Puerto Rico, 1997:1081 ~ 1086.