

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2013 4
Vol.18 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2013 年 4 月 第 18 卷 第 4 期(总第 204 期)

目 次

综述

车载视觉系统中的行人检测技术综述 许腾,黄铁军,田永鸿(359)

图像处理和编码

利用边缘匹配矢量量化和变率编码的高嵌入效率信息隐藏 王凌飞,潘志斌,邓晓曼,胡森(368)

小波变换和 SHA-1 相结合的图像压缩加密 李园园,张绍武(376)

图像分析和识别

基于 Haar 纹理的非结构化道路消失点检测 王永忠,文成林(382)

多种人群密度场景下的人群计数 覃勋辉,王修飞,周曦,刘艳飞,李远钱(392)

计算机图形学

大规模散乱点的 k 邻域快速搜索算法 杨军,林岩龙,王阳萍,王小鹏(399)

三角 Bézier 曲面的几何约束形变 陈军(407)

遥感图像处理

面向测绘任务的光学遥感影像质量分级评定 王昱,时红伟,胡闻达(415)

采用高斯归一化水体指数实现遥感影像河流的精确提取 沈占锋,夏列钢,李均力,骆剑承,胡晓东(421)

地理信息技术

图层约束下的点状自然灾害风险地图综合 潘东华,王静爱,贾慧聪,袁艺(429)

模板阴影体扩展方法 曹雪峰,万刚,李锋,李明(436)

“第 9 届中国计算机图形学大会”专栏

利用 SIFT 特征的非对称匹配图像拼接盲检测 杜振龙,杨凡,李晓丽,郭延文,沈钢纲(442)

视觉感知的图像和视频抽象 宋杰,徐丹,时永杰(450)

局部线性模型优化的灰度图像彩色化 厉旭杰,赵汉理,黄辉(460)

分区域去运动模糊 张璐,盛斌,马利庄(467)

脑血管体绘制的快速表意式增强 吴腾飞,骆岩林,田云,武仲科,闫建平(476)

第七届国际图象图形学学术会议征文通知 封 3

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 18 No. 4 April 2013

Contents

Review

Survey on pedestrian detection technology for on-board vision systems Xu Teng, Huang Tiejun, Tian Yonghong(359)

Image Processing and Coding

Highly efficient information hiding using SMVQ-compressed images and variable length coding
..... Wang Lingfei, Pan Zhibin, Deng Xiaoman, Hu Sen(368)

Image compression and encryption based on DWT and SHA-1 Li Yuanyuan, Zhang Shaowu(376)

Image Analysis and Recognition

Vanishing point detection of unstructured road based on Haar texture Wang Yongzhong, Wen Chenglin(382)

Counting people in various crowded density scenes using support vector regression
..... Qin Xunhui, Wang Xiufei, Zhou Xi, Liu Yanfei, Li Yuanqian(392)

Computer Graphics

Fast algorithm for finding the k -nearest neighbors of a large-scale scattered point cloud
..... Yang Jun, Lin Yanlong, Wang Yangping, Wang Xiaopeng(399)

Shape modification of triangular Bézier surfaces with geometric constraints Chen Jun(407)

Remote Sensing Image Processing

Optical image quality grading assessment orienting to surveying & mapping mission requirements
..... Wang Yu, Shi Hongwei, Hu Wenda(415)

Automatic and high-precision extraction of rivers from remotely sensed images with Gaussian normalized water index
..... Shen Zhanfeng, Xia Liegang, Li Junli, Luo Jiancheng, Hu Xiaodong(421)

Geoinformatics

Generalization for point features in risk mapping of natural hazards based on layer constraint
..... Pan Donghua, Wang Jing'ai, Jia Huicong, Yuan Yi(429)

Extension method of stencil shadow volume Cao Xuefeng, Wan Gang, Li Feng, Li Ming(436)

Issum of Chinagraph'2012

Fogery image blind detection by asymmetric search based on SIFT
..... Du Zhenlong, Yang Fan, Li Xiaoli, Guo Yanwen, Shen Ganggang(442)

Visual perception based image and video abstraction Song Jie, Xu Dan, Shi Yongjie(450)

Local linear model optimization based grayscale image colorization Li Xujie, Zhao Hanli, Huang Hui(460)

Motion deblurring based on image segmentation Zhang Lu, Sheng Bin, Ma Lizhuang(467)

Fast illustrative enhancements on volume rendering of cerebral vessel
..... Wu Tengfei, Luo Yanlin, Tian Yun, Wu Zhongke, Yan Jianping(476)

中图法分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)04-0421-08

论文引用格式: 沈占锋, 夏列钢, 李均力, 骆剑承, 胡晓东. 采用高斯归一化水体指数实现遥感影像河流的精确提取[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(4): 421-428.

采用高斯归一化水体指数实现 遥感影像河流的精确提取

沈占锋¹, 夏列钢¹, 李均力², 骆剑承¹, 胡晓东¹

1. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101
2. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011

摘要: 河流精确提取在水资源调查、利用、变化检测及大型水利设施建设评估等方面具有非常重要的意义。通常的河流信息提取方法受影像中云、冰雪、山体阴影、大型湖泊等的干扰较大, 大范围的适用性有限。以 Landsat 卫星遥感数据为数据源, 在归一化差异水指数(NDWI)计算的基础上, 首次提出采用高斯归一化水体指数(GNDWI)提取河流水体的模型, 使得指数能够更大程度上保证河流提取的连续性, 并通过 DEM 的辅助实现了其他干扰信息的去除。通过对伊犁河试验区河流信息提取的实验结果表明, 该方法除了能够实现对复杂多样的河流水体信息进行自动提取外, 还可有效去除阴影等信息的混淆, 并能够达到较高的河流提取精度。

关键词: 高斯归一化; 高精度; 河流提取; 数字高程模型; 水体指数

Automatic and high-precision extraction of rivers from remotely sensed images with Gaussian normalized water index

Shen Zhanfeng¹, Xia Liegang¹, Li Junli², Luo Jiancheng¹, Hu Xiaodong¹

1. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

Abstract: The accurate extraction of rivers is important for survey of water resources, time series change detection on water usage, assessment of large-scale water conservancy facilities, and so on. The general methods of river extraction are difficult to be applied widely because of the disruption by clouds, snow, shadow of mountains, and lakes in remotely sensed images. In this paper, we propose a new index calculation model for river extraction, which is based on an improved water index, named Gaussian normalized difference water index (GNDWI). The model can remove the interference factors effectively by the aid of a DEM. The experiment for the extraction of Ili River from Landsat images show that the new model can automatically and rapidly extract the river in very complex environments. Furthermore, shadows and other useless information can also be effectively removed with a high accuracy.

Key words: Gaussian normalization; high precision; river extraction; digital elevation model (DEM); water index

收稿日期: 2012-08-15; 修回日期: 2012-10-25

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)基金项目(2013AA12A401); 国家科技支撑计划项目(2011BAH06B02)

第一作者简介: 沈占锋(1977—), 男, 副研究员, 2005年于中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室获得博士学位, 现从事遥感影像信息提取与分析、分布式影像计算等研究工作。E-mail: shenzf@irsa.ac.cn

0 引言

遥感影像的水体提取技术是影像信息自动提取的一项重要内容。水体和陆地对太阳辐射的反射、吸收和透射特性不同,在遥感影像上的差异也比较明显,水陆界线相对比较清楚,因此对于水体遥感提取的研究开展较早^[1]。通过遥感手段对湖泊、河流等信息进行精确的提取与检测,可广泛应用于水资源调查和灾害评估等应用^[2-4]。同时,水体面积的变化作为揭示全球生态环境演变规律的指示剂^[1, 5],可以反映全球、区域或局部的地表构造或气候的作用过程,因此水体信息的自动高精度提取具有重要的意义。

在水体提取方面,根据技术路线的不同,可以分为基于影像分类的方法^[6-8]与基于指数计算^[1, 9-10]的方法两种。影像分类的方法主要是采用监督或非监督的分类方法实现影像中水体的分类,其原理是通过分析不同地物在不同波段上所表现的反射率波谱特征,判断他们与水体波谱的相似程度进行实现。这种方法的优点是比较简单易行,可以将知识应用到判别之中,且可一次性提取多种自然地物;缺点是由于不同类型的水体在不同外界条件下所表现的波谱特征不同,因而不具很好的可推广性,而且需要人工参与,无法批量自动地实现信息提取,增加了提取结果的不确定性及人为的工作量。基于指数计算的方法原理实际上也属于一种波谱分析方法,只是它通过分析影像在不同波段的反射特征,找出水体同其他地物反射特性区别最大的两个波段,并通过数学运算以增加这种差异,再通过阈值分析等方法区分出其中的水体,从而形成一种有效的经验性指数公式。这种方法相对于影像分类来说,不能通过一次性的影像计算实现其他多种非水体信息的提取与辨识过程,但对于水体的提取来说则较为有效,也能够采用全自动的方法进行实现。针对水体在多光谱遥感数据上的波谱特性,McFeeters 提出归一化差异水体指数(NDWI)^[11],徐涵秋通过修正波段组合提出改进的归一化差异水体指数(MNDWI)^[12],Ouma 等人结合湿度指数发展了水体指数 WI^[13],闫需提出增强型水体指数(EWI)等^[14]。这些水体指数都是在水体波谱曲线分析的基础上通过波谱间的简单运算实现的,它们既能够定量地描述水体信息在影像上的表现特征,同时也可有效地与其他非水体信

息进行区分。

然而,以上研究中的实例几乎都是以影像中的湖泊水体提取为例,而专门针对遥感影像中河流提取的研究并不多。因此,针对 Landsat 影像的河流信息精确提取问题提出采用高斯归一化水体指数(GNDWI)进行河流提取的算法模型,并对河流提取过程中的一系列因素——云、冰雪、山体阴影分别提出了去除干扰的方法,实现了河流信息的自动化精确提取。

1 GNDWI 计算及河流自动提取

同湖泊水体相比,河流中的水体提取具有更大的难度,这是因为:1)河流在影像中不是表现为形状信息明晰的斑块状,而是表现为不规则的长条线状或多边形曲面状,而且很可能由于河流改道、断流等原因而导致河道变得更加复杂,无法应用文献[1]等多层次信息提取迭代模型;2)河流的水量没有湖泊大,还有水草、淤泥杂质甚至河道树木等的影响,再加上中分辨率遥感影像易受混合像元、邻近像元效应的影响,导致河流像元光谱同周边陆地像元光谱的差异性减少,同一河流内部光谱差异性增大,增加了河流精确提取的难度;3)河流提取过程中还容易受到影像中云、冰雪、山体阴影等的影响,而且其影响程度比湖泊提取中的程度还要严重,这也增加了河流自动精确提取的难度。为此,在大数据量遥感影像处理并进行河流精确提取需求的趋向下,提出采用 GNDWI 进行河流提取的算法模型,并在算法实现过程中对河流提取过程中的一系列干扰因素——云、冰雪、山体阴影分别提出了去除方案。图 1 示意了进行河流信息自动提取的技术路线流程图。

在图 1 所示的河流信息提取过程中,除应用了影像上不同像元的波谱信息外,还应用了提取结果的形状信息,其中光谱信息体现在两个水体指数计算方面(NDWI 与 GNDWI),主要采用像素级计算的方式实现^[15]。由于采用了 GNDWI,影像中的大量云和冰雪信息也被加入到了水体的提取结果中,可辅助 NDWI 及分割结果中水体对象的形状指数的方法进行云与冰雪信息的去除,主要采用对象级计算的方式进行实现^[15]。对于水体提取结果中的其他冰雪与山体阴影等干扰信息,进一步可采用基于 DEM 的汇流分析形成地表的可能径流^[16],再

以此对河流的可能区域进行限制,完成真实河流的提取过程。在完成数据准备(遥感影像选定、预处理,DEM数据预处理,数据配准等)的基础上,整个提取过程可以实现高度自动化,并且保证了提取精度。

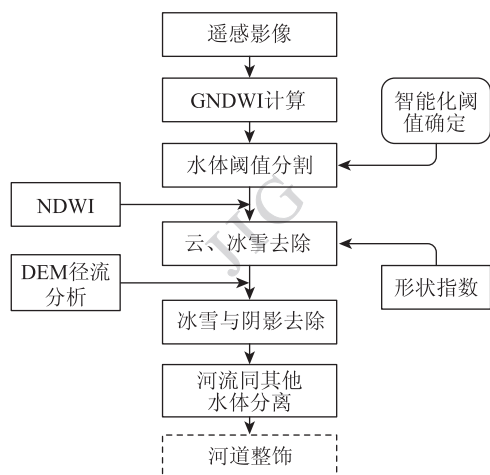


图1 河流信息全自动提取技术路线图

Fig. 1 Technique work-flow of river automatic extraction

2 相关算法实现及效果分析

根据图1所示河流信息提取提出的技术路线图,在自主研发的遥感信息提取与目标识别软件平台(SINCE2008)的支持下,针对Landsat卫星遥感数据资源的特点,采用Visual C++开发完成了面向河流的自动提取算法,其中所采用的方法体系中各个主要部分具体算法的实现如下:

2.1 水体提取模型及分割阈值的确定

河流信息提取是在水体信息提取的基础上进一步进行判断实现的,因此需要首先进行影像中水体信息的自动提取与计算。在综合分析并大量实验的基础上,采用两种水体指数,即NDWI与GNDWI,如图2所示。计算完水体指数后,再通过影像分析并确定水体同非水体的分割阈值,完成初步的水体提取结果。

2.1.1 NDWI

在光学遥感中,水体对太阳光具有很强的吸收性,与其他陆地信息相比较总体上呈现出较弱的反射率,水体从可见光到中红外波段的反射逐渐减弱,尤其在近红外和中红外波长范围内其吸收最强。据此原理,很多水体指数模型纷纷被提出,其中最经典

的水体指数为NDWI,其计算公式为^[11]

$$NDWI = \frac{b_{green} - b_{NIR}}{b_{green} + b_{NIR}} \quad (1)$$

式中, b_{green} 代表绿色波段; b_{NIR} 代表近红外波段。在Landsat影像中,分别对应了2和4波段。NDWI的计算,抑制了陆地植被等信息而突出了水体信息;同时,在NDWI计算过程中,统一对NDWI数值进行了拉伸,可使不同传感器、不同成像条件的影像也可获得具有可比较的、相近统计特性的NDWI影像波段,便于区分影像中的水体信息。

2.1.2 GNDWI

对于遥感影像中的水体信息提取来说,可首先对影像进行水体指数计算并进行阈值分割,选取合适阈值并提取NDWI大于阈值的部分作为影像中的水体结果。这个过程对于影像中的湖泊提取较为有效^[1],但对于河流的提取则较难获得好的提取效果。因此,在河流信息提取的研究过程中,构造了一种新的水体指数模型GNDWI,其原理是通过高斯变换将原来NDWI中的值为0的两侧数值中的弱信息进行拉伸,同时压制值靠近1与-1的强信息(因为对于河流来说其位置主要位于弱信息附近),从而提高河流水体同陆地部分的可区分度,并保证提取出的河流水体的连续性。当然,采用GNDWI也会在水体提取的同时引入一系列误差或错误区域(将其他非水体区域误认为水体),需要在进一步的处理中去除相应的错误区域并进行结果的修正,GNDWI的计算公式为

$$GNDWI_{i,j} = \frac{NDWI_{i,j} - \overline{NDWI}}{\sigma} \quad (2)$$

式中, $GNDWI_{i,j}$ 为点 (i,j) 处的高斯归一化水体指数, $NDWI_{i,j}$ 为点 (i,j) 处的归一化差异水体指数, $\overline{NDWI}$ 为影像所有像元的NDWI均值, σ 为影像所有像元的NDWI标准差。

图2示意了实验影像采用NDWI(图2(b))与GNDWI(图2(c))两种方法计算水体指数的对比图(采用伪彩色进行结果红蓝润色,其中蓝色代表水体)。从图2中可以很容易地看出,对于河流的提取来说,采用GNDWI更容易实现水体的分离并较好地保留了水体的完整性,比NDWI的结果更易于确定河流提取过程中的阈值,其缺点就是影像中右下角的大量云及一些阴影也因为拉伸作用混入水体提取结果,需要在后续的处理中进行去除。

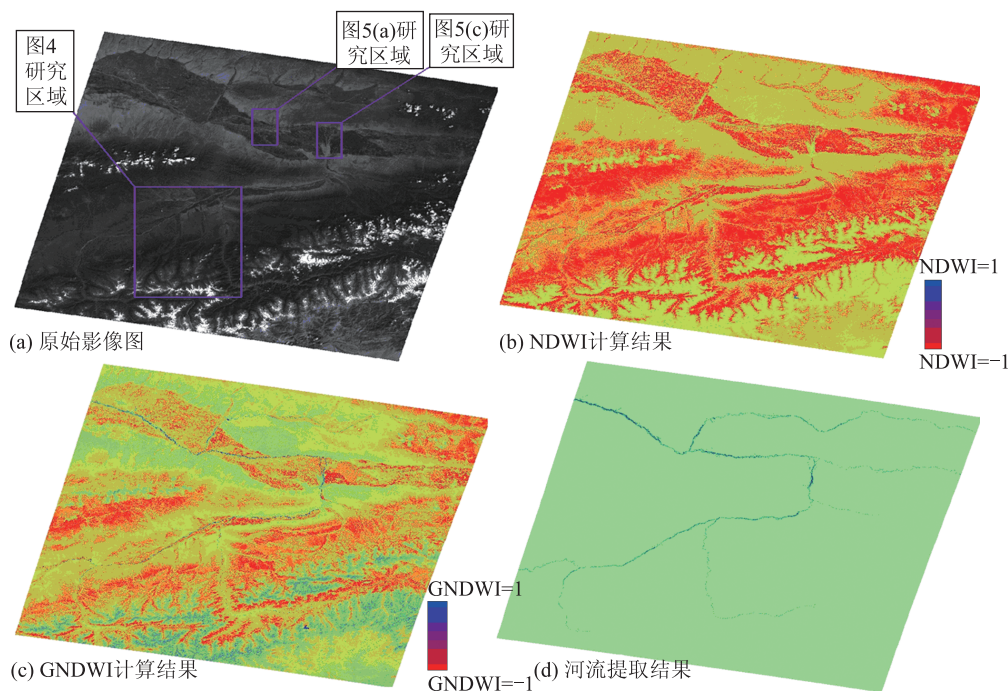


图 2 面向河流的不同水体指数计算结果对比图

Fig. 2 River extraction effect comparison of NDWI and GNDWI

2.1.3 水体指数阈值确定

水体指数阈值的确定尤为重要,其准确性与否则将直接决定水体提取的范围与精度。不同影像、不同成像条件下的水体所表现出的阈值均不同,需要根据影像实现水体指数阈值的自适应确定方法:首先统计 GNDWI 影像中的直方图信息,初步确定基于 GNDWI 的水体分割阈值,再在先验知识的辅助下对相应的阈值进行自适应调整,实现最大限度地水体同非水体的分离,同时保证尽可能少的非水体信息的混入。提出先验知识辅助下的缓冲区区域迭代的阈值确定方法,即首先选取先验知识(这里可以是前期已有的河流分布矢量数据,也可以采用 DEM 通过地表汇流分析的结果),通过将其与初步提取影像结果进行叠加确定河流水体的可信范围,再通过将此可信范围的河流水体进行一定程度的缓冲区扩展,缓冲区实现的规则为缓冲的非水体面积(像元个数)近似等于当前确定河流水体面积,以确保缓冲区内的 GNDWI 直方图呈水体同非水体的双峰分布,易于实现其峰底区域阈值的确定^[1,17],最后通过迭代在此缓冲区范围内训练并确定最佳的水体阈值,具体流程如图 3 所示。

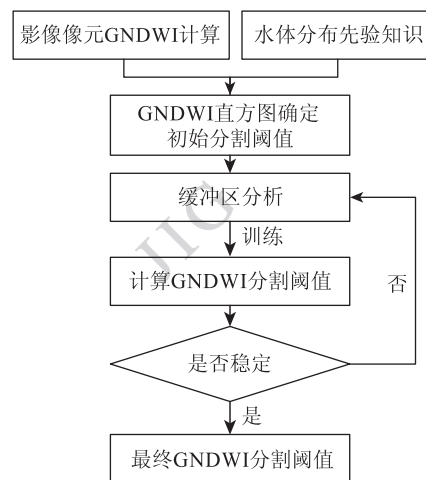


图 3 GNDWI 水体分割阈值的确定

Fig. 3 Segment threshold calculation of GNDWI

图 3 中水体分布先验知识的获取方法是指已有该区域的河流、湖泊等水体的先验底图或 DEM 的汇流分析图,算法中对其成图时间、成图比例及水体精度的要求很低,只需基本正确即可。对于 GNDWI 分割阈值的迭代过程,可以在上一次计算出来的分割阈值的基础上进一步进行迭代,并比较前后两次的水体提取结果的变化范围,稳定后终止迭代。

2.2 基于 NDWI 与形状指数的云干扰信息的去除

在 2.1 节中确定水体指数的分割阈值之后,就可以通过分割阈值对整景影像进行阈值分割并确定其中的水体分布范围。为进一步实现水体提取的精确化,需要去除影像中的一些干扰信息,如云信息去除。具体的实现过程为首先判断在指定的阈值下, GNDWI 影像相对于 NDWI 影像的目标增加部分(这里实际包括在 NDWI 影像中表现出的断续河流部分,以及部分云信息),再根据连通性规则判断相应目标区域的形状指数并去除云信息。这是因为河流呈长条线状,宽度有限,而云一般呈块状,可以较容易地通过形状指数对二者进行区分并去除云的影响(如限定湖泊的长宽比及基于 DEM 的地形坡度辅助等)。采用的形状指数有

$$L_{\text{avg}} = \frac{p}{C_{\text{line}}} \quad (3)$$

$$l_{\text{perw}} = \frac{L_{\text{avg}}}{W_{\text{avg}}} \quad (4)$$

式中, L_{avg} 为平均长度, l_{perw} 为长宽比, p 为周长, C_{line} 为线段个数, W_{avg} 为平均宽度。

实验中可以采用式(3)(4)确定一定阈值后(如本文算法选择 $l/w > 2.5$ 作为河流段)并去除云信息。实际上,采用上述技术路线去除的相应信息中不仅包含影像中的云信息,同时也包括一些其他具有面状信息的地物(如冰雪信息以及湖泊信息),这些信息的去除对于河流的正确提取并不影响。

2.3 基于已有河流分布或 DEM 的冰雪与山体阴影信息的去除

完成影像中的云信息去除之后,还需要对冰雪及阴影等信息进行去除,可采用已有河流分布图或 DEM 作为先验知识的方式进行实现。由于河流、湖泊的地表高程相对较低,通过 DEM 径流分析所得地表径流区域及径流曲线同实际的河流与湖泊一般能够相重合(湖泊对应于汇流区域,河流对应汇流曲线),因此可以大致确定河流分布,去除冰雪及山体阴影信息的干扰,将实际河流提取结果限制到汇流区域。

图 4(a)示意了 GNDWI 基于阈值分割的结果,可以看出分割后结果很好地保持了河流的完整性,但同时也引入了一些其他的小的斑点和云、阴影、冰雪等信息,可以采用图 4(b)的红线部分的 DEM 汇流分析结果进行区域限制并去除干扰信息,其实现方法可采用先验知识辅助下的种子生长算法。

图 4(b)中的 DEM 汇流分析提取地表径流的结果(红线部分)同现有河流的路径基本一致,因此图 4(c)在有效去除图 4(a)中的山体阴影及大量云信息之后,提取的河流结果精度较高,且提取结果保留了较好的完整性。实际上,在提取过程中所采用的 DEM 为空间分辨率 90 m 的 SRTM(shuttle radar topography mission)数据重采样至 TM 级别(30 m),再加上时相不一致以及河流改道等原因,DEM 汇流分析结果不一定能够同影像中的河流重合较好(例如图 5),通过种子生长方法先找出 DEM 汇流分析同现有水体的交点,再在这些交点的基础上进行种子生长,就可以在 GNDWI 影像上跟踪出现有水体的走向,因此,在 DEM 辅助下的种子生长算法仍然对 DEM 的成图时间、成图比例及精度的要求很低,只需基本正确即可。

图 5 示意了 DEM 径流分析辅助下的河流提取结果。图 5 中红线部分为基于 SRTM 90 m 的地表汇流分析图,由于时相的不同及空间分辨率的不同,导致红色汇流分析结果与实际地表的河流不完全一致,即河流已经改道,但这并不影响最终的河流提取结果,如图 5(a)(b)所示。对于图 5(c),通过 DEM 汇流分析可能仅查到一个 DEM 的汇水区,但实际的地表河流可能由多条地表径流构成,通过此方法也能够将已有地表径流通过种子生长方法而跟踪出来,如图 5(d)所示。通过径流结果对已提取出的结果进行标定,再根据标定的点进行种子生长(可辅助一定的腐蚀、膨胀运算),就完成了连通区域的河流的生成过程,实现了连通河流水体的提取过程。类似地,DEM 径流分析结果也可以被现有河流或历史河流的矢量数据等先验知识所代替。

2.4 湖泊河流的分离

通过上述方法能够基本实现影像中的水体信息的精确提取。由于影像中的水体表现为河流、湖泊、湿地等,因此在影像河流信息自动提取的过程中还需要将河流同其他类型的水体进行有效区分,从而完成影像河流信息的精确提取,可采用计算其水体形状指数并判断其归属类别的方法实现(类似 2.2 节),或者采用 DEM 数据辅助的方式实现。因为一般来说,构成影像中的湖泊、湿地等较大面积水体的影像像元在影像 DEM 上所对应的地表高程相同,而河流水体中不同像元的 DEM 有所差别,应用这种方法也可以有效区分影像中的河流与其他水体。

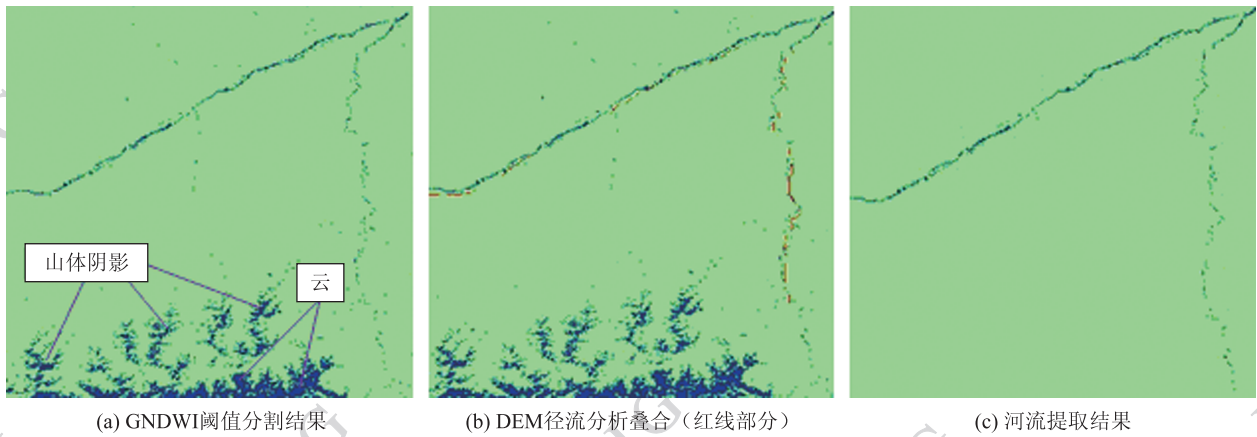


图 4 DEM 辅助的云信息去除效果

Fig. 4 Effect of cloud remove by the assistance of DEM

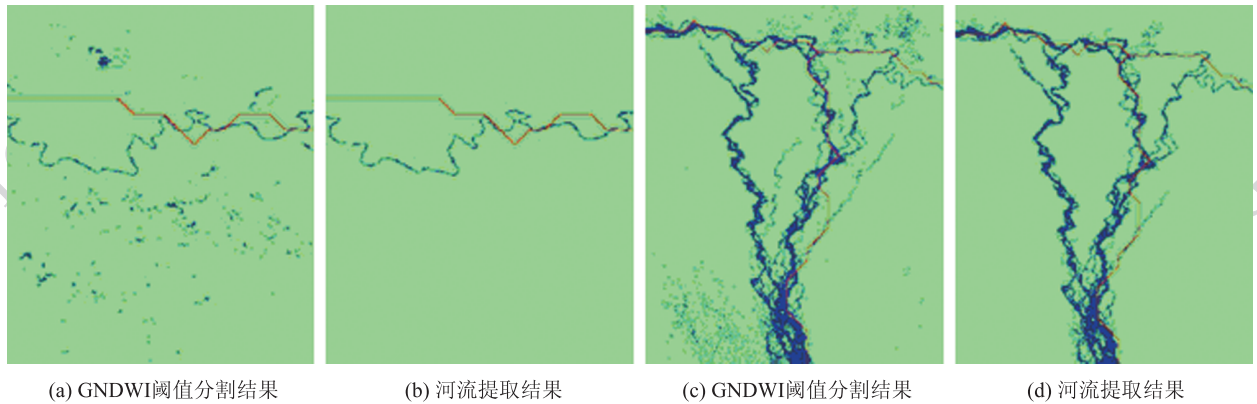


图 5 基于 DEM 辅助方法实现河流范围追踪图

Fig. 5 River tracing result assisted by priori knowledge from DEM

2.5 河流断流处后处理

对于影像中的河流提取来说,要求提取出的影像中河流信息尽量精确(其结果可进一步计算河流面积或多时相变化检测等)。但由于某些河流可能存在季节性断流,或因为 GNDWI 阈值在某些区域过大而导致无法提取完整的河流,因此在 GNDWI 基础上提取出的河流也可能存在断流的情况,一般可能不需要对这种情况进行处理,但如果需要提取河流的主干流向及矢量成图时,则需要将断流的部分进行后处理并连接,可以采用河流趋势线分析、数学形态学等方式进行断流处连接。

3 实验与结果分析

选择 Landsat 影像进行新疆伊犁河流域的河流信息自动提取。伊犁河所属的中亚地区水资源缺

乏、沙漠荒漠面积辽阔、生态环境脆弱。由于该地区自然环境恶劣,交通条件不发达,给实际地面的数据采集和调查工作带来很大困难,而且很多地点因人无法到达而影响了调查的精度。因此,卫星遥感技术是进行河流动态变化检测的有效技术手段之一^[13,18],并可为解决国际河流用水争端、保持中亚地区社会经济稳定与发展提供量化信息。

实验数据选择伊犁河流域 2000-08-05 的 TM 影像数据,原始影像大小为 $8\,673 \times 7\,790$,数据量约 500 MB,如图 2 所示。对该景影像河流提取的精度速度等指标进行测试与统计,河流的提取结果见图 2(d)。对上述算法在遥感信息计算平台 SINCE2008 上进行了实现,相应的计算机测试环境如下:CPU Intel DualCore 2.93 GHz,内存 3 G,在不需要任何干预的情况下河流提取所需时间仅为约 74 s。其中测试影像的 GNDWI 分割阈值迭代为 5 次,通过在已有河流范围的缓冲区上进行 GNDWI

分割阈值的分析,使得在局部范围内有效控制了计算效率下降的问题,并且消除了因河流所占比例不大而导致的直方图阈值不易确定的问题。

河流提取的精度与 GNDWI 分割阈值的确定有关,在本次实验的结果测试中整景影像的河流错分率为 0.04%,漏分率为 6.23%,整体测试精度达到 93.73%,主干河流提取的精度为 99.32%。其中,错分部分主要原因是由于云阴影恰好落在河流上影响了阈值确定;漏分部分主要原因是由于 GNDWI 分割阈值的选取精度问题,并进而导致有水草、淤泥等的河流边缘少量像元未能正确识别。主干河流的识别精度较高,少量未正确识别的主要原因在于 DEM 或先验知识的错位而导致的少量河流源头未能完全识别。

因此,对于一般大区域性、多时相的河流水体自动提取以及在此基础上的变化分析等应用来说,本文相应的模型算法已经能够满足相应的精度与速度方面的需求,且在完成数据准备不需要任何人工干预。

4 结 论

基于水体指数的遥感影像河流信息提取具有高精度、自动化等优点,可应用于批量遥感影像的河流信息全自动提取,并有效提高河流信息提取的精度与自动化进程。在综合分析多种水体指数的计算过程后,首次提出了基于高斯归一化水体指数的河流水体信息提取模型,最大程度地保证了提取河流水体的完整性,并通过 NDWI、形状指数、DEM 等辅助信息实现云、冰雪、山体阴影等干扰信息的有效去除,实现了河流水体的精确提取过程。由于确定影像水体 GNDWI 指数的分割阈值是影像水体精确提取的一个关键步骤,提出了基于先验知识辅助下的缓冲区区域迭代的阈值确定方法,并通过自适应方式实现了水体阈值的自动精确确定。对于影像中的云、冰雪、山体阴影等干扰信息,也提出了基于 NDWI、已有河流网及 DEM 等先验信息辅助的去除方法,保证了河流信息提取整个过程的自动化,以及提取结果的精确化程度。实验结果表明,该方法不但能够实现复杂多样的河流水体信息的高精度自动提取,还具有很好的鲁棒性和应用前景。同时,本文实验中采用的 Landsat 卫星遥感数据也可推广到其他中分辨率遥感数据(如 CBERS,环境星数据)的河流

信息提取应用中。

从精度测试及分析中也可以得知,GNDWI 的阈值确定精度为河流信息提取精度的一个重要影响因素,因此如何更精确地衡量并确定 GNDWI 的阈值将是进一步研究的重点。

参考文献(References)

- [1] Luo J C, Sheng Y W, Shen Z F, et al. Automatic and high-precision extraction for water information from multispectral images with the step-by-step iterative transformation mechanism [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2009,13(4): 610-615. [骆剑承, 盛永伟, 沈占锋, 等. 分步迭代的多光谱遥感水体信息高精度自动提取[J]. *遥感学报*, 2009,13(4): 610-615.]
- [2] Borton I J. Monitoring floods with AVHRR[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1989,30(1): 89-94.
- [3] Lu J J, Li S H. Improvement of the techniques for distinguishing water bodies from TM data [J]. *Journal of Remote Sensing*, 1992,7(1): 17-23. [陆家驹, 李士鸿. TM 资料水体识别技术的改进[J]. *遥感学报*, 1992,7(1): 17-23.]
- [4] Zhou C H, Du Y Y, Luo J C. A description model based on knowledge for automatically recognizing water from NOAA/AVHRR [J]. *Journal of Natural Disasters*, 1996,5(3): 100-108. [周成虎, 杜云艳, 骆剑承. 基于知识的 AVHRR 影像的水体自动识别方法与模型研究[J]. *自然灾害学报*, 1996,5(3): 100-108.]
- [5] Ke C Q. A review of monitoring lake environment change by means of remote sensing [J]. *Transaction of Oceanology and Limnology*, 2004,23(4): 81-86. [柯长青. 湖泊遥感研究进展[J]. *海洋湖泊通报*, 2004,23(4): 81-86.]
- [6] Yang D Q, Liu B H. An automatic analysis method of rivers based on remote sensing image [J]. *Journal of Fuzhou University: Natural Science*, 2004,32: 99-103. [杨璇青, 刘秉瀚. TM 遥感图像中河流的自动提取[J]. *福州大学学报: 自然科学版*, 2004,32: 99-103.]
- [7] Zhong C Q, Zheng C H. A study of wetland extraction and its dynamic changes in the estuary of the minjiang river based on TM imaging [J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2008,1:38-42. [钟春棋, 郑彩红. 基于 TM 影像的闽江口湿地信息提取及其动态变化研究[J]. *国土资源遥感*, 2008,1: 38-42.]
- [8] Lacoste C, Descombes X, Zerubia J. Unsupervised line network extraction in remote sensing using a polyline process[J]. *Pattern Recognition*, 2010,43: 1631-1641.
- [9] Gao L J, Luo J C, Shen Z F, et al. Index based hierarchical model for thematic information extraction [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2009,25(2): 39-43. [郜丽静, 骆剑承, 沈占锋, 等. 基于指数计算的多层次遥感信息提取模型[J]. *地理与地理信息科学*, 2009,25(2): 39-43.]

- [10] Qiao C, Luo J C, Sheng Y W, et al. Analysis on lake changes since ancient and modern ages using remote sensing in Dagze Co, Tibetan Plateau [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2010, 22(1): 98-102. [乔程, 骆剑承, 盛永伟, 等. 青藏高原湖泊古今变化的遥感分析—以达则错为例[J]. *湖泊科学*, 2010, 22(1): 98-102.]
- [11] McFeeters S K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 1996, 17(7): 1425-1432.
- [12] Xu H Q. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI) [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2005, 9(5): 589-595. [徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. *遥感学报*, 2005, 9(5): 589-595.]
- [13] Ouma Y O, Tateishi R. A water index for rapid mapping of shoreline changes of Five East African Rift Valley Lakes: an empirical analysis using landsat TM and ETM+ data [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(15): 3153-3181.
- [14] Yan P, Zhang Y J, Zhang Y. A study on information extraction of water system in semi-arid regions with the enhanced water index (EWI) and GIS based noise remove techniques [J]. *Remote Sensing Information*, 2007, 6: 62-67. [闫霏, 张友静, 张元. 利用增强型水体指数(EWI)和GIS去噪音技术提取半干旱地区水体信息的研究[J]. *遥感信息*, 2007, 12(6): 62-67.]
- [15] Zhou C H, Luo J C. *High-Resolution Satellite Remote Sensing Images Geo-computing* [M]. Beijing: Science Publishing House, 2009: 1-25. [周成虎, 骆剑承. 高分辨率卫星遥感影像地学计算[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 1-25.]
- [16] Xu H W, He J, She Y J. Method for extraction of digital drainage network in the Qinhuai River basin based on DEM and remote sensing [J]. *Journal of Hohai University: Natural Sciences*, 2008, 36(4): 443-447. [许捍卫, 何江, 余远见. 基于DEM与遥感信息的秦淮河流域数字水系提取方法[J]. *河海大学学报: 自然科学版*, 2008, 36(4): 443-447.]
- [17] Li J L, Sheng Y W, Luo J C. Automatic extraction of himalayan glacial lakes with remote sensing [J]. *Journal of Remote Sensing*, 2001, 15(1): 29-43. [李均力, 盛永伟, 骆剑承. 喜马拉雅山地区冰湖信息的遥感自动化提取[J]. *遥感学报*, 2011, 15(1): 29-43.]
- [18] Lu A X, Wang L H, Yao T D. The study of Yamzho Lake and Chencuo Lake variation using remote sensing in Tibet Plateau from 1970 to 2000 [J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2006, 21(3): 173-177. [鲁安新, 王丽红, 姚檀栋. 青藏高原湖泊现代变化遥感方法研究[J]. *遥感技术与应用*, 2006, 21(3): 173-177.]