

基于多特征融合的遥感图像 河流目标检测算法

于晓升, 吴成东, 陈东岳, 田子恒

(东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 针对近似河流无法准确检测出来的问题, 提出了一种基于多特征融合的遥感图像河流目标检测算法。首先根据提取样本图像的局部熵、纹理和角点信息特征构建了有效区分河流区域和背景区域的特征向量, 利用支持向量机进行训练获得决策函数, 通过决策函数判断测试图像的河流区域, 完成河流区域的粗检测; 然后结合粗检测的结果, 应用测地线活动轮廓模型提取完整准确的河流区域。实验结果证明该算法对河流目标定位准确, 获得的河流检测结果具有良好的连通性, 可以准确地检测复杂背景下的河流区域。

关 键 词: 多特征融合; 河流目标检测; 支持向量机; 测地线活动轮廓

中图分类号: TP 391

文献标志码: A

文章编号: 1005-3026(2012)11-1547-04

River Detection in Remote Sensing Image Based on Multi-feature Fusion

YU Xiao-sheng, WU Cheng-dong, CHEN Dong-yue, TIAN Zi-heng

(School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China. Corresponding author: YU Xiao-sheng, E-mail: yuxiaosheng7@hotmail.com)

Abstract: Due to the difficulties to exactly detect the similar rivers, a novel river detection algorithm was proposed based on multi-feature fusion of the remote sensing image. Firstly, the local entropy features, the texture features and corner information features of the simple images were extracted as the feature vectors of the support vector machine (SVM) in order to obtain the decision function. Then the decision function was employed to perform the coarse detection of rivers in tested images. Finally, in order to obtain the complete rivers, the geodesic active contour model was used, which was combined with the results of the coarse detection of rivers. Experimental results demonstrated the proposed algorithm has good performance in the location and connection of rivers, and the rivers can be detected accurately without the background interference.

Key words: multi-feature fusion; river detection; support vector machine; geodesic active contour

近年来,随着航空、航天技术的快速发展,卫星遥感进入了一个前所未有的新阶段。特别是对地观测技术的不断成熟,以及大量的高空间分辨率卫星遥感成像的涌现,信息提取技术已经成为当前遥感应用领域的具有挑战性的研究课题。河流是一种重要的地理目标,对遥感图像的河流目标的自动检测和识别,在水利评估,水资源监测,地图匹配,洪涝灾害预防及船舶导航等方面具有

十分重要的作用。由此可见,研究一种快速准确的河流目标自动检测算法具有十分重要的现实意义。

目前,研究者们提出了许多遥感图像河流目标检测算法。主要可以分为以下4类:阈值分割法^[1-2]、区域生长法^[3]、模式分类法^[4-5]和边缘检测法^[6]。这些算法应用于河流区域和背景区域差异较大的遥感图像,检测效果比较理想。但是当遥感图像中存在与河流区域近似的其他地理目标

收稿日期: 2012-05-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61005032); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(N110604006)。

作者简介: 于晓升(1984-),男,辽宁大连人,东北大学博士研究生; 吴成东(1960-),男,辽宁沈阳人,东北大学教授,博士生导师。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

时,河流无法准确地检测出来.在遥感图像中,地理目标的种类繁多,空间细节信息丰富,存在大量的近似河流的区域.因此,寻找一种遥感图像的河流目标检测算法是本文的研究重点.

本文提出了一种基于多特征融合的遥感图像河流目标检测算法.该算法应用于遥感图像,有效地避免了一些与河流相似区域的干扰,完整地提取了河流区域.

1 河流粗检测

1.1 局部熵特征

在遥感图像中,河流区域的灰度相对统一,波动较小;而背景区域灰度比较分散,波动较大.局部熵特征可以客观地表征图像灰度的离散程度.因此,通过局部熵,遥感图像河流区域和背景区域的差异可以准确地反映出来.图像的熵 H 可定义为

$$H \approx - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N p_{ij} (p_{ij} - 1) = 1 - \sum_{(i,j) \in (M,N)} p_{ij}^2, \tag{1}$$

$$p_{ij} = I(i,j) \setminus \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I(i,j). \tag{2}$$

其中: $I(i,j)$ 是 1 幅图像中像素点 (i,j) 的灰度值; p_{ij} 是该幅图像的灰度分布,图像的尺寸大小为 $M \times N$.如果 $M \times N$ 表示 1 幅图像的局部窗口,则 H 为该窗口的局部熵.本文通过定义一个局部窗口模板对整幅图像进行遍历,根据式(1)计算图像的局部熵特征.

1.2 纹理特征

在遥感图像中,河流的显著特征为分布均匀,有一定的面积;背景区域则分布差异较大,面积较小.纹理特征反映了图像或图像区域中目标表面性质.对于均匀的纹理,其局部的灰度变化程度、像素的分布是相同的或近似周期的;对于不同的纹理,其局部的灰度变化程度、像素的分布具有明显的差异.由此可知,河流区域纹理的相似性较大,而背景区域的纹理信息是截然不同的.因此,纹理可以作为一种有效区分河流区域和背景区域的应用于河流检测的特征.

在本文算法中,应用文献[7]中的基于树状小波分解的算法提取图像的纹理特征.首先对原始图像 $I(i,j)$ 进行 2 次完全树形小波分解,得到 16 幅具有不同能量的分量图像,并利用式(3)计算各分量图像的能量,

$$E = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |h(i,j)|. \tag{3}$$

其中 $h(i,j)$ 为分量图像.通过比较 16 幅分量图像的能量大小,选择其中 4 幅具有较大能量的分量图像,采用一个局部窗口模板对这 4 幅分量图像进行遍历,计算每一个像素的纹理特征

$$E = \frac{1}{n \times n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n h(i,j)^2. \tag{4}$$

其中局部窗口尺寸大小为 $n \times n$.因此,图像的纹理特征可以通过 4 维向量 $E = [E_1, E_2, E_3, E_4]$ 描述.

1.3 角点信息特征

当图像中存在与河流区域相似的地理目标时,仅采用上述两种特征无法克服这些相似区域的干扰,检测效果十分不理想.因此,本文建立了一种新的反映河流区域和背景区域差异的特征:角点信息特征.

通过比较分析遥感图像河流区域与背景区域的表现特性可知:河流区域的角点较少;而背景区域含有大量的角点.但是角点是一种点特征,仅能反映图像的局部几何信息,并不能作为河流区域和背景区域的客观评判标准,因此需要进一步分析与处理.

由上述分析可知:背景像素比河流像素更易于接近角点.基于此,提出如下两个假设:①如果某一个像素在空间位置上与多个角点十分接近,那么该像素极有可能属于背景区域;②每一个角点对所有像素是否隶属于背景区域都作出了评估,评估的大小随角点与像素的空间距离的逐渐增大而逐渐减小,这种关系可通过高斯核函数描述.基于上述假设,本文将图像中全部角点对某一像素隶属于背景区域的评估总和称为该像素的背景隶属度,所有像素的背景隶属度构成了该幅图像的角点信息特征.一个像素的背景隶属度可通过式(5)计算:

$$B_u = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{\|u-c_i\|^2}{2\sigma^2}}. \tag{5}$$

其中: u 表示 1 幅图像的 1 个像素; c_i 表示该幅图像的角点; $\|u-c_i\|$ 表示像素 u 与角点之间的欧氏距离; n 为角点数量; B_u 为像素 u 的背景隶属度.如果像素 u 与某一角点之间的距离过大,那么评估值接近于 0,因此该角点 c 对像素 u 的评估可以近似忽略不计.因此式(5)可作如下简化:引入阈值 d ,当 1 个像素与某个角点之间欧氏距离大于阈值 d 时,那么该角点对该像素评估值为 0.式(5)重定义为

$$B_u = \sum_{i=1}^m \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{\|u-c_i\|^2}{2\sigma^2}}, \|u-c_i\| \leq d. \tag{6}$$

其中 m 为满足 $\|u - c_i\| \leq d$ 条件的角点个数。

本文首先应用文献[8]中提出的角点检测算法检测角点, 然后基于角点检测结果, 根据式(6)计算每一个像素的背景隶属度, 并作归一化处理,

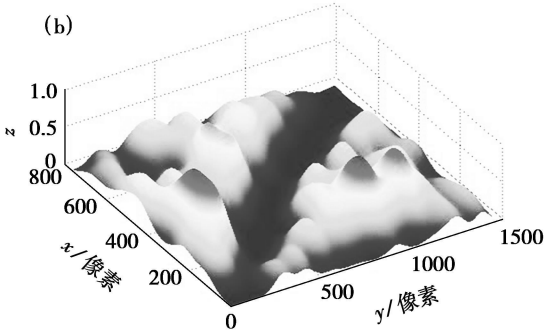
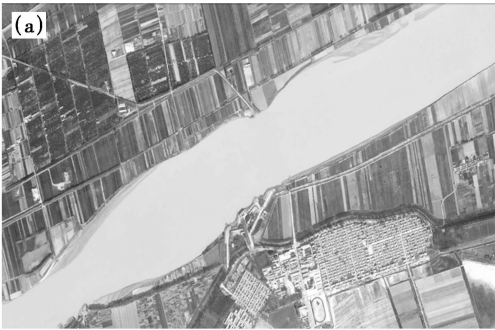


图 1 角点信息特征提取结果

Fig. 1 The results of corner information feature extraction

(a) 一原始图像; (b) 一角点信息特征图。

1.4 基于支持向量机的河流粗检测

本文应用支持向量机 (support vector machine, SVM) 完成遥感图像河流目标粗检测。首先提取样本图像的局部熵特征、纹理特征和角点信息特征构造特征向量, 然后利用 SVM 进行训练, 获得决策函数, 通过决策函数对测试图像中河流区域进行判断, 实现河流目标粗检测。图 2 展示了 1 幅测试图像的河流粗检测结果。从图中可以看出河流的主体区域被准确地检测出来。

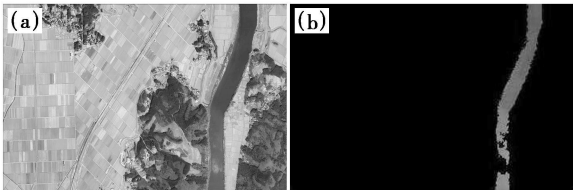


图 2 河流目标粗检测结果

Fig. 2 The result of the river coarse detection

(a) 一测试图像; (b) 一粗检测结果。

2 河流目标完整区域提取

河流粗检测结果通常是一些不连续的独立闭合区域, 并且角点信息特征的引入, 使得这些闭合区域分布在实际河流区域内部。因此, 需要进一步的处理以获得完整河流区域。本文采用测地线活动轮廓^[9] (geodesic active contour, GAC) 模型实现河流完整区域提取, GAC 模型的演化方程为

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \left(gk - \langle \nabla g, N \rangle + ag \right) N. \quad (7)$$

其中: C 表示闭合曲线; g 是一个单调递减函数, 称为边缘停止函数; N 为活动轮廓的内法向量; k 为活动轮廓的欧氏平均曲率; a 为气球力。在实际应用中, 活动轮廓通过收缩 (或膨胀) 向真实目标

最终得到图像的角点信息特征。图 1 为遥感图像的角点信息特征提取结果, 角点信息特征客观有效地反映河流区域和背景区域的差异。

边缘逼近, 最终停止在边缘上。GAC 模型是借助水平集^[10]方法实现,

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = gk | \nabla \phi | + ag | \nabla \phi | + \nabla g \cdot \nabla \phi. \quad (8)$$

其中 ϕ 为水平集函数。通过迎风差分格式对偏微分方程(8)进行迭代求解, 即可得到图像的分割结果。

本文采用 GAC 模型提取河流完整区域时, 需指定活动轮廓的初始轮廓位置及其演化方向 (收缩或膨胀)。根据粗检测的结果, 本文定义如下规则: ①以这些独立闭合区域的边缘线构成的闭合曲线为 GAC 模型初始轮廓线; ②活动轮廓的演化方向为向外膨胀。上述规则保证了活动轮廓能够最终成功收敛在河岸线上, 实现完整河流区域提取。图 3 为应用 GAC 模型提取河流区域的过程, 河流区域被准确完整地提取出来。

3 实验与分析

应用本文算法对遥感图像河流进行检测, 并与文献[5]提出的基于纹理分析的河流检测算法的实验结果相比较, 验证算法的有效性。

图 4 是上述 2 种算法在检测含水库与田野的遥感图像河流方面的比较。图 4a 为测试图像, 图像中包含大面积的水库和田野, 这些区域的纹理与河流区域相似度较高。图 4b 为纹理分析算法的河流目标检测结果, 在水库和田野的干扰下, 纹理分析算法的检测结果十分不理想。图 4c 为本文算法的河流目标检测结果。本文算法引入了角点信息特征, 成功地避免了水库和田野的干扰, 采用 GAC 模型, 提取了河流目标精确区域, 得到了令

人满意的检测结果。

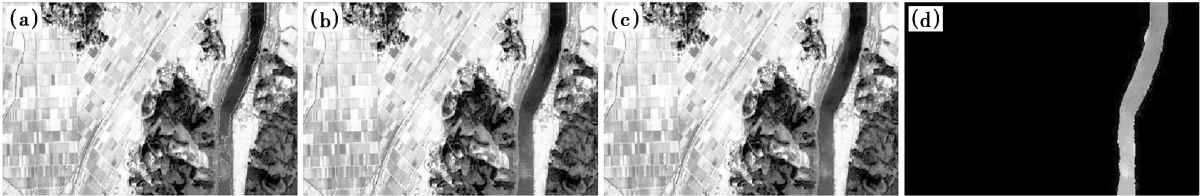


图 3 河流区域提取过程

Fig. 3 The extraction process of the desirable shape of river

(a) —初始轮廓位置; (b) —活动轮廓演化过程; (c) —活动轮廓收敛; (d) —提取完整河流区域。

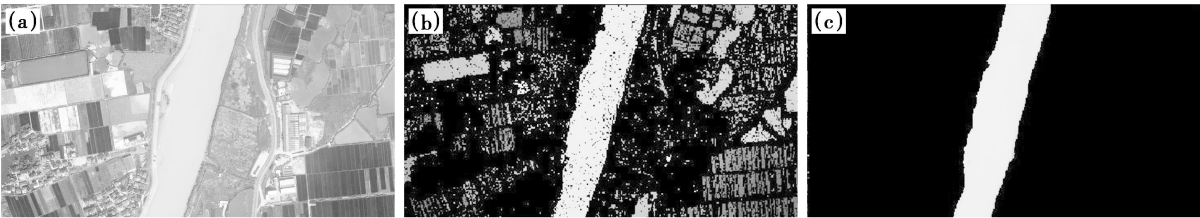


图 4 含水库与田野的高分辨率遥感图像河流目标检测结果

Fig. 4 The results of river detection in a high resolution remote sensing image with reservoirs and fields

(a) —测试图像; (b) —纹理分析算法河流目标检测结果; (c) —本文算法河流目标检测结果。

4 结 论

本文提出了一种在遥感图像中有效检测河流区域的算法。该算法基于河流区域和背景区域的表现差异分析,融合不同的特征训练 SVM 分类器,实现河流区域粗检测;结合粗检测结果,应用 GAC 模型获得河流目标的完整区域。实验证明了本文算法准确性高,适用性强。

参考文献:

[1] Trias-Sanz R, Lomenie N, Barbeau J. Using textual and geometric information for an automatic bridge detection system[C] // Proceedings of ACIVS. Belgium, 2004: 325–332.

[2] 吴樊,王超,张红,等. 基于知识的中分辨率光学卫星遥感影像桥梁目标识别研究[J]. 电子与信息学报, 2006, 28(4): 587–591.

(Wu Fan, Wang Chao, Zhang Hong, *et al.* Knowledge based bridge recognition in high resolution optical imagery [J]. *Journal of Electronic & Information Technology*, 2006, 28(4): 587–591.)

[3] Espindola G M, Camara G, Reis I A, *et al.* Parameter selection for region-growing image segmentation algorithms using spatial autocorrelation [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27(14): 3035–3040.

[4] 陈生,王宏,沈占锋,等. 面向对象的高分辨率遥感影像桥

梁提取研究[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(4): 585–590.

(Chen Sheng, Wang Hong, Shen Zhan-feng, *et al.* Study on object-oriented extracting bridges from high resolution remote sensing image[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2009, 14(4): 585–590.)

[5] Fu Y L, Xing K, Huang Y J, *et al.* Recognition of bridge over water in high-resolution remote sensing images[C] // 2009 WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering. Piscataway: IEEE Computer Society, 2009: 621–625.

[6] Sun J P, Mao S Y. River detection algorithm in SAR images based on edge extraction and ridge tracing techniques[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2011, 32(12): 3485–3494.

[7] Chang T, Kuo C C J. Texture analysis and classification with tree structured wavelet transform[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1993, 3(4): 429–441.

[8] He X C, Yung N H C. Corner detector based on global and local curvature properties[J]. *Optical Engineering*, 2008, 47(5): 1–12.

[9] Caselles V, Kimmel R, Sapiro G. Geodesic active contours [J]. *International Journal of Computer Vision*, 1997, 22(1): 61–79.

[10] Osher S, Sethian J. Fronts propagating with curvature dependent speed: algorithms based on Hamilton-Jacobi formulations[J]. *Journal of Computational Physics*, 1988, 79(1): 12–49.