

形态梯度重构的标记分水岭高光谱影像分割

安素珍, 王茂芝, 张涛, 崔会丽

(数学地质四川省重点实验室, 成都 610059)

摘要:传统分水岭算法通常对梯度图像做无标记分割,其结果是容易造成过度分割。为了克服过分割的缺陷,进而应用于复杂的高光谱遥感图像分割,结合形态学预处理方法,在对图像实施平滑处理的同时,利用形态学开闭重构技术对梯度图像进行重建,在此基础上对高光谱遥感梯度重建图像进行标记分水岭分割。实验证明,这种处理技术对高光谱遥感图像的分割效果良好,能够满足高光谱遥感图像分类与信息提取的需要。

关键词:形态梯度;形态重构;标记分水岭算法

中图分类号:TP391

文献标识码:A

引言

近年来,高光谱遥感影像在波谱分辨率不断提高的同时,空间分辨率也得到极大的提升,地物的形状结构和纹理信息变得十分复杂,传统的数学形态学分水岭分割算法在高光谱遥感影像分割中会产生严重的过分割现象。这是由于分水岭算法借助了地形学的概念,将灰度图像看成假想的自然地貌,每一像素点的灰度值代表该点的海拔高度,灰度极大值代表山峰,灰度极小值代表山谷。每个灰度极小值及其影响区域称为集水盆地,而集水盆地间的边界则称为分水岭线,而由于受高光谱遥感影像的暗噪声和暗纹理等细节的影响,使得影像中会存在大量的伪极小值,最终导致分水岭算法的过分割现象^[1-2]。

本文针对高光谱遥感影像的特点,选择合适的具有多方向性功能的结构元素对高光谱遥感影像进行分割前的预处理,最终利用标记分水岭变换实现对高光谱遥感图像的分割,这种分割方法有着突出的优势,对弱边缘敏感,可以得到连通且密闭的边缘,为高光谱遥感影像的进一步处理和分析奠定了基础。

1 形态学算法原理

1.1 形态梯度

图像分析中,一般假设相对具有同一灰度级的图像目标为区域。这样,目标边界或边缘就位于灰度级剧烈变化的位置,梯度运算就是用来突出这些变化。灰度梯度^[3]运算在边缘的连续性、细节保存情况及各向同性方面都优于传统方法。对于灰度图像 $f(x,y)$,其形态梯度图像 $g(x,y)$ 为:

$$g(x,y) = f(x,y) \oplus b(x,y) - f(x,y) \ominus b(x,y)$$

其中, $b(x,y)$ 为结构元素。上式也可表达为

$$g(x,y) = [f(x,y) \oplus b(x,y) - f(x,y) \ominus b(x,y)]/2$$

本文选用圆盘状结构元素,由于经形态梯度运算后图像中得灰度越变急剧增强,而圆盘状结构元素具有各向同性,可以消除梯度对边缘方向的依赖性^[4]。同时结构元素半径较小,避免了梯度图像中产生过厚边缘造成的区域轮廓定位误差。

1.2 形态重构

对于形态学梯度图像,图像中仍然存在由噪声和量化误差造成的局部“谷底”,如果直接进行标准分水

收稿日期:2012-05-20

基金项目:863 计划项目(2008AA121103);中国地质调查局项目(1212011120226)

作者简介:安素珍(1985-),女,山西原平人,硕士生,主要从事空间分析及图像处理方面的研究,(E-mail)635887127@qq.com

岭分割,仍然会出现过分割现象。为此,采用形态学重构技术对梯度图像进行重构,可以使得纹理和噪声引起的局部极小值剔除的同时还是得物体显著轮廓得到恢复。

数学形态学中常用的重构技术是开运算重构和闭运算重构。它是建立在测地学膨胀和腐蚀基础上的。对于梯度图像 $g(x,y)$ 、参考图像 $r(x,y)$ 和结构元素 B ,其测地学膨胀^[5]定义为:

$$\begin{cases} D_B^{(1)}(g,r) = (g \oplus B) \wedge r \\ D_B^{(n+1)}(g,r) = (D_B^{(n)} \oplus B) \wedge r, n = 1, 2, \dots \end{cases}$$

其中 \wedge 表示逐点求取最小值, B 为圆盘状结构元素,满足旋转不变性,所以不会造成图像特征值的畸变。形态学测地膨胀为迭代运算,当迭代次数达到预定值或 $D_B^{n+1} = D_B^n$ 时,迭代过程终止。基于此定义,形态学开重建 $O_B^{(rec)}$ 定义为:

$$O_B^{(rec)}(g,r) = D_B^{(rec)}[(g \circ B), r]$$

其中 $D_B^{(rec)}$ 表示形态学测地膨胀收敛时的结果。

形态学闭重建为开重建的对偶运算。同样,测地学腐蚀及闭重建的定义分别为:

$$\begin{cases} E_B^{(1)}(g,r) = (g \ominus B) \vee r \\ E_B^{(n+1)}(J) = (E_B^{(n)} \ominus B) \vee r, n = 1, 2, \dots \end{cases}$$

和 $C_B^{(rec)}(g,r) = E_B^{(rec)}[(g \cdot B), r]$

其中 \vee 表示逐点求取最大值, $E_B^{(rec)}$ 表示形态学测地腐蚀收敛时的结果。

形态学开闭混合重建运算 $g_B^{(rec)}$ 是建立在以上形态学开重建和形态学闭重建基础之上的,定义为先开后闭的二次重建运算

$$g_B^{(rec)} = C_B^{(rec)}[O_B^{(rec)}(g,r), r]$$

形态学开闭重构技术^[6]常用在图像预处理阶段。相对于形态学开或闭运算来说,形态学开闭重构不仅可以平滑图像,而且具有开或闭重构不具备的优点:它不会改变图像中景物原有的结构,对于图像边缘的影响不大,处理后的图像边缘不会有偏移情况。形态学重构不仅具有目标提取功能,还能使细密纹理和部分噪声引起的伪局部极值被去除,并较好的保留重要的轮廓极值信息^[7]。

1.3 标记分水岭算法

传统分水岭是一种基于拓扑理论的数学形态学的分割方法,其基本思想是把图像看作是测地学上的拓扑地貌,图像中每一点像素的灰度值表示该点的海拔高

度,每一个局部极小值及其影响区域称为集水盆,而集水盆的边界则形成分水岭。它的概念和形成可以通过模拟浸入过程来说明。在每一个局部极小值表面,刺穿一个小孔,然后把整个模型慢慢浸入水中,随着浸入的加深,每一个局部极小值的影响域慢慢向外扩展,在两个集水盆汇合处构筑大坝,即为分水岭。它的计算过程是一个迭代标注过程。比较经典的计算方法是 L. Vincent 提出的。在该算法中,分水岭计算分两个步骤,一个是排序过程,一个是淹没过程。首先对每个像素的灰度级进行从低到高排序,然后在从低到高实现淹没过程中,对每一个局部极小值在 h 阶高度的影响域采用先进先出(FIFO)结构进行判断及标注。

这种分水岭算法的弱点是对微弱边缘具有良好的响应,图像中的噪声、物体表面细微的灰度变化,都会产生过度分割的现象。

为了进一步克服传统分水岭分割过分割现象,本文借助数学形态学标记提取^[8,9]中的扩展极小运算 H-minima^[10]从修正梯度图像中获得低频成份 ∇I_C^{BLPF} 中来提取与图像中得物体相关的极小值,用这些极小值构造二值标记图像 ∇I_C^{mark} , H-minima 通过与给定的阈值 h_1 进行比较,消除那些积水盆深度低于阈值的局部极小值,提取出满足条件的标记强制作为梯度图像的局部极小值。公式如下:

$$\nabla I_C^{mark} = HMIN(\nabla I_C^{BLPF} | h_1)$$

其中, $HMIN(\cdot)$ 代表形态学 H-minima 变换。

2 高光图像分割过程及结果对比分析

2.1 算法的具体实现

为证明本文算法的有效性,本文选取德兴铜矿高光光谱遥感影像作为测试对象,图像的大小为 273×382 ,分辨率为 10 m,实验之前,对数据进行预处理,包括数据选择(利用 Envi 软件选择高光光谱遥感影像信息量较大的波段)和数据转换(利用 Envi 软件将所选波段转换为灰度图像),灰度图像 2-2 即为处理结果也是本文所用的处理数据。具体分割流程如图 1 所示。

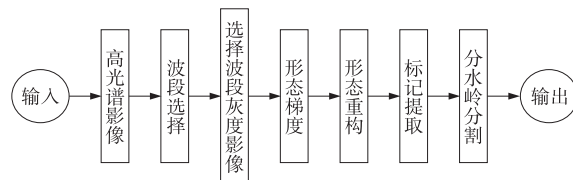


图 1 高光光谱遥感图像分割流程

2.2 算法实验结果

为了比较本文方法的优点,采用传统的 Vincent 分水岭算法对图像(图 2)进行分割,图 3 为分割结果,由于受高光谱遥感图像明暗纹理的影响,分割结果产生了严重的过分割现象。图 4 为本文算法分割结果,实验结果可见,采用形态梯度(图 5)不仅增强了图像对比度,而且保留了图像中相对平滑的区域;但是并没有有效的处理掉虚假边缘。梯度重构(图 6)使得量化误差和噪声引起的局部极小值剔除的同时,使得图像变的模糊;之后梯度修正(图 7)使得物体轮廓得到一定的恢复;最后在修正图像上进行分水岭分割,不仅避免了大量的区域为边界,而且保留了重要的目标轮廓信息,使得最终分割效果良好。因此基于形态学预处理的标记分水岭算法在高光谱遥感图像分割中可以得到较好的应用。

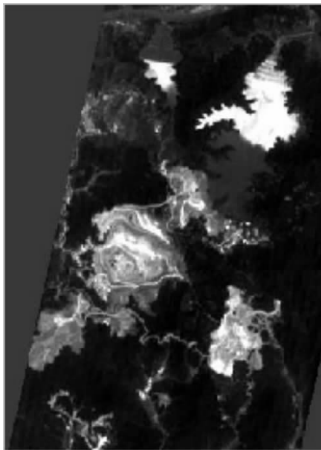


图 2 灰度高光谱遥感图像

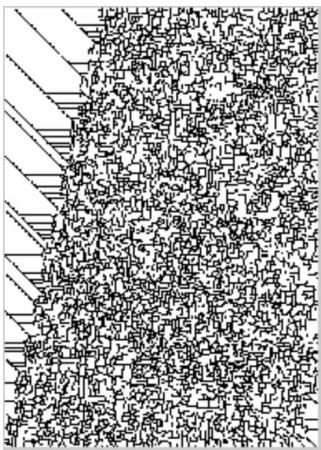


图 3 传统分水岭分割结果

2.3 实验结果分析

本文在实验过程中涉及到两个参数的选取,他们是对图像进行梯度运算时所采用的结构元素 b 和标记分割



图 4 本文标记分水岭分割结果

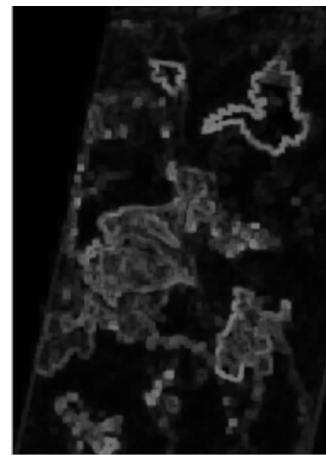


图 5 形态梯度图像

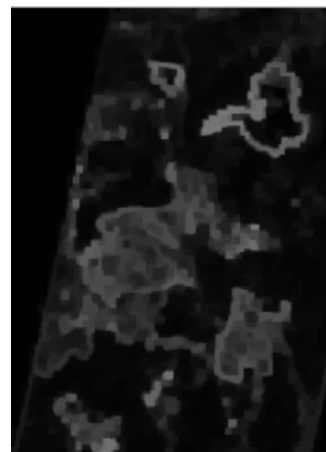


图 6 形态重构图像

时所指定的阈值 h 。参数的不同,分割结果也有很大的不同。

2.3.1 形态梯度及其结构元素大小的影响

形态学中,结构元素的选取至关重要,他直接影像这图像特征及图像边缘梯度运算的最终结果。图 8 分

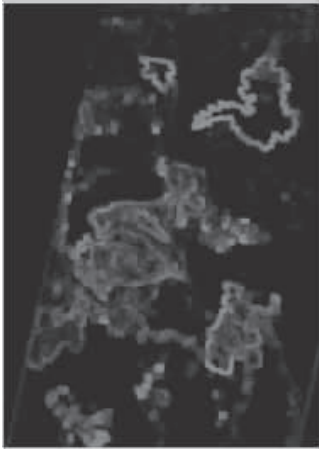


图7 形态梯度修正图像

别尺度为1,3,5的圆形形态学结构元对高光谱遥感图像进行梯度运算,从实验的结果,我们可以看出,结构元素的选取对于梯度运算来说起着至关重要的作用,如果 b 的取值较小,那么,有很好的保持细节能力,但很难滤

除图像中的噪声;如果 b 足够大,去噪能力强,但会造成边缘间的严重相互影响,同时模糊图像的细节。因此,为了避免大小结构元素各自的优缺点,我们应该尽量多的多选几个结构元,以求达到最佳效果。

2.3.2 分水岭分割算法

经过上面的多次试验证明,选用尺度为3的圆形结构元对高光谱灰度图像进行形态学梯度运算取得的梯度图像的效果是最好的,因此以下将对尺度为3的圆形结构元的梯度运算结果图进行阈值不同的本文分水岭算法分割。分割的总体结果表明本文分水岭算法明显优于传统分水岭分割算法。但同时实验结果也表明当 h 取值偏小,则图像的局部较小值去除不彻底,分割效果仍然不理想,但当 h 偏大时,图像分割结果过于粗糙,许多细节部分被大量的抹除,造成图像有用信息严重丢失,仍然得不到预期的结果,因此,选择合适的局部极小值阈值,对图像的分割结果影响很大(图9)。

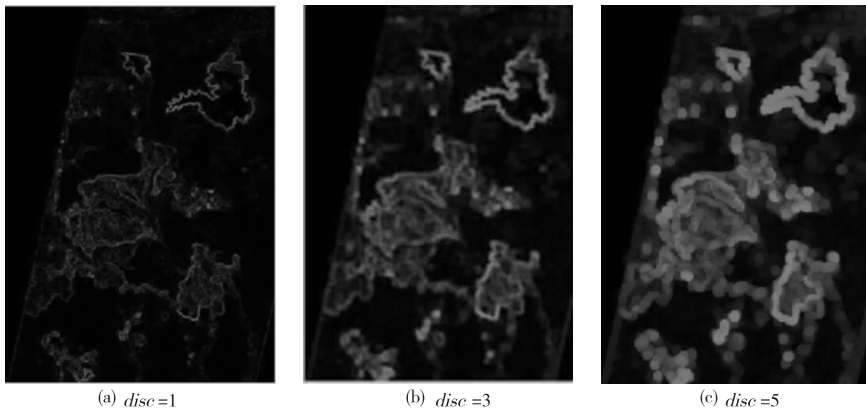


图8 尺度不同的形态学梯度图像

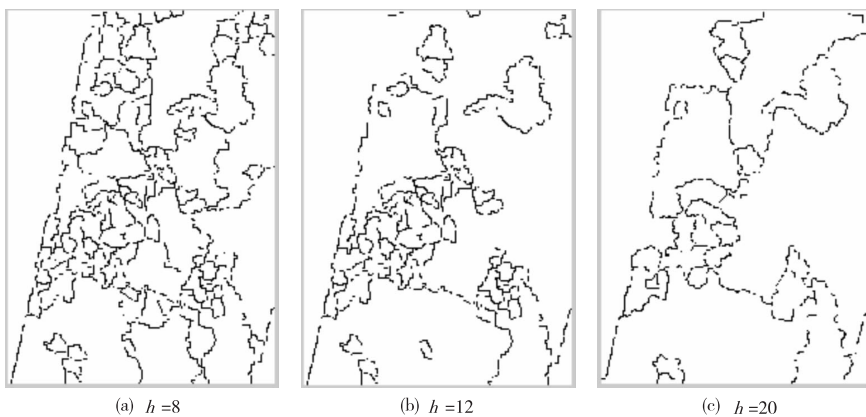


图9 阈值不同的本文分水岭分割结果

3 结束语

本文通过现有分水岭算法的分析,将形态学梯度和

标记提取方法结合使用对高光谱遥感图像预处理,再进行分水岭分割。这种方法解决过分割问题时所采取的所有措施都放在分水岭之前的预处理中进行,分水岭变

换之后没有区域合并操作,方法非常简便。同时,实践证明这种方法对处理高光谱遥感图像得到较好的结果。不过文中采用方法仍有一些不足之处,需要进一步研究和解决,后续工作将主要着眼于:

(1) 由于结构元素的尺度和对比度的高度阈值的设定,是根据经验和实验得到的最佳效果而定的,并没有达到真正意义上的分割自动化,希望通过区域内部一致性和邻域一致性来进行自动判断,最终达到完全自动化。

(2) H_{\minima} 变换中阈值只能主观确定,仅仅利用了绩效指点深度信息,忽略了汇水盆地尺度信息,希望在以后的工作中可以加以改进。

(3) 当分割效果不能满足应用需要时,可以在分割结束后考虑区域合并的方法,进一步抑制过分割。

参 考 文 献:

- [1] Jos B T M Roerdink, Arnold M. The watershed transform: definitions algorithms and parallelization strategies [J]. *Fundamental Informaticae*, 2001, 41: 187-228.
- [2] Chen S Y, Huang Y W, Chen L G. Predictive watershed: a fast watershed algorithm for video segmentation [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2003, 13: 453-461.
- [3] 崔屹. 数学形态学方法及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [4] 王宇, 陈殿仁. 基于灰度形态梯度重构和标记提取的分水岭图像分割 [J]. *中国图像图形学报*, 2008, 13(11): 2177-2180.
- [5] Nello Cristianini, John Shawe-Talor. *Introduction to Support Vector Machines* [M]. Beijing: China Machine Press, 2005.
- [6] 张鑫, 陈伟斌. 基于形态学重构的多结构元结构图像边缘检测 [J]. *计算机仿真*, 2009, 26(8): 216-219.
- [7] Lifshitz L M, Pizer S M. Multiresolution hierarchical approach to image segmentation based on intensity extreme [J]. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1990, 12(6): 529-540.
- [8] 马丽红, 张宇, 邓健平. 基于形态开闭滤波二值标记和纹理特征合并的分水岭算法 [J]. *中国图像图形学报*, 2003, 8(1): 77-83.
- [9] 高丽, 杨树元, 李海强. 一种基于标记的分水岭图像分割算法 [J]. *中国图像图形学报*, 2007, 12(6): 1025-1032.
- [10] Pierre Soille. *Morphological image analysis principles and applications* [M]. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1999.

Segmentation of Hyperspectral Remote Sensing Image Based on Morphological Gradient Reconstruction and Marker Extraction

AN Su-zhen, WANG Mao-zhi, ZHANG Tao, CUI Hui-li

(Geomathematics Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610059, China)

Abstract: Gradient images are usually implemented by traditional watershed algorithm with no-signal segmentation, which can easily cause over-segmentation. To overcome the defects and apply watershed algorithm to the complex hyperspectral remote sensing image segmentation, it combines with morphological preprocessing method in the text. An image is smooth processed, its gradient image is reconstructed by open and close reconstruction technology of morphology at the same time. Based on that hyperspectral remote sensing gradient and reconstruction images are segmented by marked watershed algorithm. It is proved by the experiment that this processing technology has a good effect on the segmentation of the hyperspectral remote sensing images, and can satisfy the classification and information extraction needs of hyperspectral remote sensing images.

Key words: morphological gradient; morphological reconstruction; mark watershed algorithm