

高分辨率遥感图像耕地地块提取方法研究

胡潭高, 朱文泉*, 阳小琼, 潘耀忠, 张锦水

北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京师范大学资源学院, 北京 100875

摘要 利用高分辨率遥感图像的光谱信息提取耕地地块对于土地利用动态监测、精准农业等领域有着非常重要的意义, 然而传统的结合 GIS 软件与手工数字化提取地块的方法费时费力, 并且具有很大的主观性, 因此利用计算机自动提取地块具有很强的现实意义。文章提出了一种基于小波变换和分水岭分割的高分辨率遥感图像耕地地块提取方法, 首先结合高分辨率层遥感图像的光谱信息, 利用图像分类结果对原始图像中典型地物的灰度值进行对比增强处理, 然后进行小波变换和分水岭分割, 通过改进的区域合并算法解决过度分割问题, 最后利用 Canny 算子引入边缘信息, 得到最终的耕地地块分割结果。通过对北京地区 Quickbird 数据的应用, 准确快速的提取了耕地地块数据, 证明该方法是一种有效、可行的高分辨率遥感图像耕地地块提取方法。

关键词 地块; 监督分类; 分水岭分割; 区域合并; 可见光遥感

中图分类号: S155 **文献标识码**: A **DOI**: 10. 3964/j. issn. 1000-0593(2009)10-2703-05

引言

地块是指可辨认出同类属性的最小土地单元, 即内部特性和区位条件相对均匀的土地区域, 是评定和划分土地级别的基本空间单位。在不同的尺度上, 地块表现为不同的形式, 其面积可大可小。地块一般都具有确定的位置和明确的边界, 在遥感影像上的光谱特征也具有很强的相似性^[1,2]。地块作为评价单元, 在土地利用动态监测、土地覆盖、精准农业和生态规划等领域都有着非常重要的意义。当前, 通过高分辨率遥感图像获取地块信息, 传统的方法是结合 GIS 软件, 对图像进行手工数字化。这种方法既需要数字化人员具有丰富的地学知识和目视判读经验, 又需要花费大量的时间去全图数字化, 其劳动强度大, 信息获取周期长, 图像地块数字化结果受数字化人员的经验、对图像区域的熟悉程度等各种因素制约, 具有很大的主观性^[3]。因此, 利用计算机对高分辨率遥感图像进行自动化地块提取显得日益重要。

图像分类与图像分割是获取图像内部信息的两种重要手段。遥感图像分类的目的是将图像中每个像元根据其在不同波段的光谱亮度、空间结构特征或者其他信息, 按照某种规则或算法划分为不同的类别^[4]。图像分类方法主要有监督和非监督分类等, 图像分类能够较好的区分地物类别, 但是分

类结果并不是以地块的形式出现, 同一类别的区域内部往往夹杂了其他地物, 例如成片的小麦地里有田埂信息等; 另外分类结果图像没有边缘信息, 无法对其进行区域标记, 所以无法利用该方法进行地块自动提取。不过, 原始图像中某些典型地物的特征非常明显, 如水体、裸地等, 我们可以利用分类的方法先将其识别, 然后利用分类结果来增强典型地物的灰度值对比度, 从而促使需要提取的目标地块边界闭合, 提高图像分割的准确性。遥感图像分割是指按照一定的规则将一幅遥感图像分解为若干部分或子集的过程^[5]。目前已开展了较多将计算机视觉领域的图像分割算法应用于遥感图像分割过程中的研究, 并且取得了许多改进和创新^[6-9]。基于分水岭变换的图像分割方法具有较强的抑制噪声能力, 不需事先设定参数, 就可得到封闭的、单像素宽度的区域边界, 是一种比较理想的自动化提取地块方法, 但是, 分水岭变换对噪声比较敏感, 容易导致过度分割现象。为了抑制图像噪声, 减少过度分割问题, 许多研究引入了小波变换^[10], 小波变换分解得到的低频图像, 可以有效地抑制部分噪声, 所以在一定程度上缓解了过分割现象。另外 Canny 算子在图像边缘提取上具有较好地效果, 但是由于提取的边缘没有形成封闭区域, 所以不能满足地块提取的要求。如果我们能够引入其提取的边缘信息, 对于改进地块的提取结果无疑是很有帮助的。

收稿日期: 2008-10-26, 修订日期: 2009-01-28

基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(2006AA120103; 2006AA120101), 国家自然科学基金项目(40871194)资助

作者简介: 胡潭高, 1983 年生, 北京师范大学资源学院资源技术与工程研究所博士研究生 e-mail: hutangao@ires.cn

*通讯联系人 e-mail: zhuwq75@ires.cn

基于以上考虑,本文提出了一种利用图像光谱信息自动提取地块的方法:基于小波变换和分水岭分割的高分辨率遥感图像地块提取方法。我们首先利用遥感图像分类结果对原始图像的灰度值进行对比增强处理;然后对图像进行小波变换,并对小波变换后的低频图像进行分水岭分割,利用改进的区域合并算法进行区域合并,完成图像的重构;最后,引入 Canny 算子提取的边缘信息,并对图像进行区域标记,得到最终的地块提取结果。

1 方 法

基于小波变换和分水岭分割的高分辨率遥感图像地块提取方法,其主要流程为:图像典型地物灰度值对比增强、小波变换、平滑逼近图像梯度计算,分水岭分割、图像重构及后处理等环节。

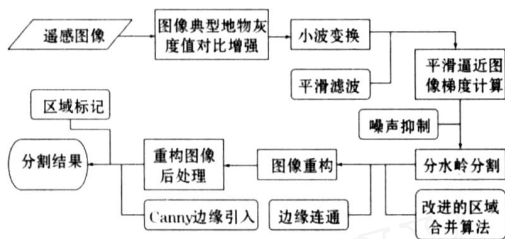


Fig 1 The flow chart of the proposed segmentation approach

1.1 图像典型地物灰度值对比增强

从光谱方面考虑,空间上与耕地地块相邻的像元其灰度值也往往与其相邻的耕地像元比较接近,所以直接运用图像分割的方法难以准确得到耕地地块边缘;而一些典型地物可以用常规的图像分类方法准确得到,利用分类结果改变其在原始图像中对应像元的灰度值,增强典型地物与耕地地块的灰度值对比度,避免与耕地地块边缘混淆,提高图像分割的精度。

1.2 小波变换、平滑逼近图像梯度计算

分水岭分割算法往往会出现过度分割现象,针对该缺点,需要对典型地物灰度值对比增强后的图像进行平滑预处理。简单的低通滤波方法会丢失大量图像信息,本文采用小波多尺度分析的方法,它是一种很好的用于图像多分辨率分析的数学工具,不仅部分解决了过度分割问题,还能有效地抗噪。一级尺度下低频图像的大小仅为原始图像的四分之一,因此可以减少图像分割的复杂度和计算时间^[11]。

遥感图像一般都含有较多的高斯噪声和非高斯噪声^[12],在分辨率图像中,由于低频图像丢失了原始图像的大量高频信息,因此在低层图像中,边缘会变得很粗糙,在地形学中,称作“高原”,即许多相邻的元素具有相同的灰度值。为了减少这种情况对分水岭分割算法的影响,先对平滑逼近图像进行平滑滤波^[13],然后再求梯度,即

$$I_{\text{gradsmooth}}(x, y) = \nabla I(x, y) * g(x, y) \quad (1)$$

其中 $g(x, y)$ 表示均值为零,标准差为 σ 的高斯滤波器; $*$ 表示卷积。

对于高斯滤波后的图像,本文采用 sobel 算子对图像进行梯度计算,假设 h_1 和 h_2 分别是垂直方向和水平方向的检测算子,通过它们与图像 I 卷积,可分别得到垂直方向和水平方向的梯度图像 I_v 和 I_h , 梯度图像 I_g 可以表示为

$$I_g = \sqrt{I_v^2 + I_h^2} \quad (2)$$

尽管在分辨率分解时,低频图像相当于原始图像通过低通滤波器后所得到的,已经滤除了部分噪声,但是这种滤波并不彻底,所以在梯度图像中,仍然会有噪声所形成的虚假边缘。我们需要对梯度图像 I_g 进行噪声抑制,根据信噪比(MSE)与标准差(σ)的关系,当阈值取 $T_g = 0.5$, 图像能获得较大的信噪比。所以,我们对梯度图像做如下处理

$$\text{IF } T_g < 0.5, \text{ THEN } T_g = 0 \quad (3)$$

其中, T_g 表示图像的梯度值, σ 表示标准差。

1.3 分水岭分割

1.3.1 分水岭分割

分水岭(watershed)分割方法,是一种基于拓扑理论发展起来的数学形态学图像分割方法,其基本思想是把图像看作测地学上的拓扑地貌,图像中的每一点的像素值表示该点的海拔高度,图像中的每一个局部极小值及其影响区域被称为集水盆,而集水盆的边界则为分水岭。显然,如果输入图像是梯度图像,分水岭表示的就是图像的边缘信息^[14]。

通过对噪声抑制后的梯度图像进行分水岭分割,可以得到初步的分割图像。

1.3.2 改进的区域合并算法

由于分水岭分割存在过度分割的问题,需要对分割后的图像进行区域合并处理。传统的基于区域邻接图的合并方法,每进行一次合并便需要对相关的链接及其在等级队列中的次序进行更新,这种方法将大量的时间消耗在排序、搜索、移除和更新链接上,处理效率不高、计算量也很大。为提高区域合并的效率,本文提出了一种新的方法,通过数学形态学算法查找相邻区域,利用区域合并代价函数设定合并阈值,进行区域合并。

假设分水岭分割后的图像为 I_0 , 被分割为 N 个区域

$$R_i(S_i, G_i), i = 1, 2, \dots, N$$

其中, S_i 表示第 i 个区域的大小; G_i 表示第 i 个区域的平均灰度值。

对于相邻的区域 p, q , 定义合并代价函数为

$$\text{MergeCost} = \frac{S_p \times S_q}{S_p + S_q} \times |G_p - G_q|^2 \quad (4)$$

区域合并的步骤如下:

首先,查找出灰度值为 G_1 的区域在 I_0 中的空间分布情况,然后将其记录到空白图像 I_1 (I_1 的大小与 I_0 一样)中,并且将这些像元的灰度值赋值为 1; 利用数学形态学中膨胀(dilate)算法,以 5×5 大小的结构元素(Structure)对 I_1 进行扩张,将这些值记录到另一幅空白图像 I_2 (I_2 的大小与 I_0 一样)上; 用 I_2 减去 I_1 , 得到图像 I_3 , I_3 记录了灰度值为 G_1 的区域的边缘和相邻像元的位置; 因为分水岭分割后的图像 I_0 的边缘值都为 0, 所以用 I_3 乘以 I_0 , 得到的数组记录了灰度值为 G_1 的所有相邻像元的灰度值; 然后,对这些相邻像元依次通过区域合并代价函数计算与 G_1 之间的距离, 如果值

小于预先设定的阈值(根据图像的先验知识得到,用户人为设定),则两者进行合并,否则就不合并;合并以后形成新的区域,每个区域的灰度值为该区域的平均值;最后,再对灰度值为 $G_2 \dots N$ 的区域进行合并,直到没有满足合并要求的区域为止。

1.3.3 边缘连通

经过区域合并以后,虽然符合合并条件的相邻区域内的像元灰度值得到了统一,但是相邻区域内的边缘还是存在,它们之间还没有真正连通,这就需要我们进一步对区域合并以后的图像进行边缘连通计算,去除其中多余的边缘。

边缘连通的步骤如下:

首先判断图像中的像元值是否为 0, 如果为 0 值, 则说明该像元是区域的边缘, 判断其上下相邻像元是否都不为 0, 如果都不为 0 并且上下相邻像元的值相等, 则说明该边缘是多余边缘, 修改该像元的值也等于其上下相邻像元的值; 同理以左右像元为依据, 对所有灰度值为 0 的像元进行修改, 直至没有满足修改要求的像元为止。

通过改进的区域合并算法, 很好的抑制了图像的过分割问题。

1.4 图像重构及后处理

平滑逼近图像经过分水岭分割变换以及区域合并等一系列运算以后, 然后利用小波逆变换得到重构图像。

1.4.1 Canny 边缘引入

Canny(1986 年)从边缘模型及噪声模型出发, 提出了边缘检测的最优滤波器, 取得了较好的效果, 并且实现简单、处理速度快, 是一种比较理想的边缘检测算法^[14]。

1.4.2 区域标记

分水岭分割及边缘信息引入后的图像, 能够保证边缘的封闭性, 为了能够更方便的区分各个区域, 我们对重构图像进行了区域标记, 从而得到遥感图像的最终分割结果。

2 应用实例

实验选取高分辨率遥感影像 Quicbird 多光谱数据作为测试图像(图 2), 成像时间为 2006 年 5 月 2 日, 分辨率为 2.4 m, 图像位于北京市通州区与河北省廊坊市的交界处。从图 2 中我们可以清晰地看出以下几种地物: 水体, 耕地、裸地和建筑用地。本文需要提取的地块是耕地地块, 图中用“耕地”标识出来。如果对此图进行人工数字化提取耕地地块, 则势必需要花费大量的时间, 下面我们用 ENVI 软件及可视化交互数据语言 IDL 编程实现高分辨率遥感图像耕地地块提取方法。

对比实验结果(图 3)与原始图像(图 2), 我们可以看出对于面积较大的耕地地块, 用基于小波与分水岭变换的遥感图像分割方法可以准确快速的提取出来, 但是对于那些掺杂在建筑用地中的面积较小的耕地地块提取的准确性还需要改进, 主要原因是面积较小的耕地地块内像元的灰度值与周围地物的灰度值对比度不强, 导致了在利用分水岭分割时无法将其准确的从周围地物中分割出来。

在区域合并方面, 阈值的选取对于合并效果的好坏起到

了决定性的作用, 由于耕地地块是我们需要提取的目标地块, 所以阈值的选取更加偏向于耕地地块, 忽略了在建筑用地区域内存在的过分割现象。



Fig. 2 A false composite (4,2,1) of test image

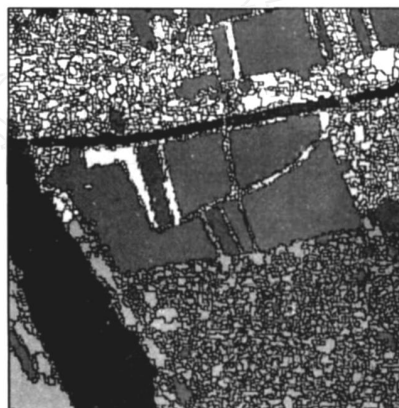


Fig. 3 The result of image segmentation

与传统的提取地块方法相比, 本文方法体现了以下优势: (1) 基于小波与分水岭变换的遥感图像分割方法是一种利用计算机自动提取地块的方法, 省时省力, 不需要太多的人工干预, 并且提取的大面积耕地地块结果准确有效。(2) 采用小波变换将原始图像分解到低分辨率图像上, 既有效的抑制了噪声, 又使得所需要处理的数据量仅为原来的 1/4, 提高了分水岭算法的速度; (3) 通过数学形态学方法查找相邻区域, 并且利用区域合并代价函数设定合并阈值的区域合并算法, 既减少了计算量, 又保证了图像信息基本不丢失。

3 结论与讨论

本文提出了一种基于小波与分水岭变换的遥感图像分割方法, 通过对灰度值对比增强后的遥感图像进行小波变换, 平滑逼近图像梯度计算, 分水岭分割, 图像重构和重构图像后处理等环节得到最终分割结果, 准确快速的提取出了耕地地块。

但是, 本文中提出的方法也有一些需要改进的地方:

(1) 利用本文的方法提取大面积内部信息均匀的地块(如耕地

地块)时准确快速,但是对于那些面积较小或者内部信息不均匀的地块时,还是存在着一定的缺陷;(2)本文的方法只是针对遥感影像的单波段进行操作,放弃了大量其他波段的

光谱信息,如何更好的利用其他波段的光谱信息是另一个研究重点。

参 考 文 献

- [1] YANG Xiao-xiong, HE Zhi-ming, FENG Xiao-li(杨小雄,何志明,冯小丽). Resources Science(资源科学), 2006, 28(6): 80.
- [2] ZHU Deng-sheng, PAN Jia-zhi, HE Yong(朱登胜,潘家志,何勇). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2008, 28(5): 1102.
- [3] QIN Qi-ming(秦其明). Science of Surveying and Mapping(测绘科学), 2000, 25(2): 21.
- [4] ZHAO Ying-shi, et al(赵英时,等). The Principles and Methods for Analysis and Application of Remote Sensing(遥感应用分析原理与方法). Beijing: Science Press(北京:科学出版社), 2003.
- [5] Pesaresi M, Benediktsson J A. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(2): 309.
- [6] Bosworth J, Koshimizu T, Acton S T. Int. J. Remote Sensing, 2003, 24(4): 741.
- [7] Provost J N, Collet C, Rostaing P, et al. Computer Vision and Image Understanding, 2004, 93(2): 155.
- [8] ZHU Hong, et al(朱虹,等). The basis of Digital Image Processing(数字图像处理基础). Beijing: Science Press(北京:科学出版社), 2005.
- [9] Williams H C. IEEE Transactions on Information Theory, 1980, 26(6): 726.
- [10] CHEN Zhou-hui, LEI Yi, LIU Hai-hua(陈州徽,雷奕,刘海华). Journal of South-Central University for Nationalities(中南民族大学学报·自然科学版), 2006, 25(1): 47.
- [11] ZHA Yu-fei, NIU Jiang-long, BIDu-yan(查宇飞,牛江龙,毕笃彦). Computer Engineering(计算机工程), 2006, 32(19): 202.
- [12] LIU Yong-xue, LI Marchun, MAO Liang(刘永学,李满春,毛亮). Journal of Remote Sensing(遥感学报), 2006, 10(3): 350.
- [13] MA Zhao-mian, TAO Chun-kan(马兆勉,陶纯堪). Acta Physica Sinica(物理学报), 1999, 48(12): 2202.
- [14] Canny J. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679.

Farmland Parcel Extraction Based on High Resolution Remote Sensing Image

HU Tan-gao, ZHU Wen-quan*, YANG Xiao-qiong, PAN Yao-zhong, ZHANG Jin-shui

State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, School of Resource and Technology of Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract A new method of farmland parcel extraction from high resolution remote sensing image based on wavelet and watershed segmentation was proposed in the present paper. First, classification results were used to enhance the contrast of gray-scale value of typical pixels in the original image using the high resolution remote sensing image's spectral information. Second, wavelet transform and watershed segmentation were applied to the enhanced image, then improved region merger algorithm was used to solve the problem of over-segmentation. Finally, inverse wavelet transform was taken to get the reconstructed image, then Canny operator was introduced to add the edge information, and the result of farmland parcel segmentation was obtained. To validate the proposed approach, experiments on Quickbird images were performed, we rapidly extracted the farmland parcel from the test image, and the results had a high accuracy. Despite it had a lot to do in extracting the small size parcels, on the whole the method this paper proposed had a very good robustness. Compared with the traditional methods, it had the following advantages: (1) it was an automatic extraction method, did not need too much manual intervention, and could extract the large area of farmland parcels accurately and effectively. (2) It was a very good solution to the problem of over-segmentation by using improved region merger algorithm, and improved the accuracy of the extraction. All these indicated that the proposed approach was

an effective farmland parcel extraction method based on high resolution remote sensing image.

Key words Parcel ; Supervised classification ; Watershed segmentation ; Region merger ; Spectral information

(Received Oct. 26 , 2008 ; accepted Jan. 28 , 2009)

* Corresponding author

2010 Winter Conference on Plasma Spectrochemistry

Fort Myers , Florida , January 4-9 , 2010

Call for Papers

The 16th biennial international Winter Conference will be held at the Sanibel Harbour Resort & Spa (www.sanibel-resort.com) in Fort Myers , Florida (www.fortmyers-sanibel.com). More than 600 scientists are expected , and over 300 papers on modern plasma spectrochemistry will be presented. Six plenary lectures and 24 invited speakers will highlight critical topics in 12 symposia. Oral paper and poster titles and short abstracts are requested by July 10 , 2009.

Symposium Features

- Applications of plasma spectrochemical techniques and methods
- Elemental speciation , species sample preparation , and biological imaging
- Excitation mechanisms and plasma phenomena
- Glow discharge atomic and mass spectrometry
- Inductively coupled plasma atomic and mass spectrometry
- Laser ablation and induced breakdown spectrometry
- Microwave plasma atomic and mass spectrometry
- Plasma chromatographic detectors and combined systems
- Plasma instrumentation , microplasmas , automation , and software innovations
- Sample introduction , transport phenomena , and modelling
- Sample preparation , treatment , and automation ; high-purity materials
- Spectrochemical chemometrics , expert systems , and novel software
- Spectroscopic standards , reference materials , databases , and quality control
- Stable isotope analyses and applications

Also

- Continuing Education Short Courses , Saturday-Monday , January 2-4
- Manufacturer 's Seminars , Saturday-Sunday , January 2-3
- Annual Golf Tournament , Sunday , January 3
- Spectroscopy Instrumentation Exhibition , Tuesday-Thursday , January 5-7
- Six Daily Heritage Lectures
- Workshop on New Plasma Instrumentation , Tuesday-Thursday , January 5-7

Information

For program , registration , hotel , and transportation details , visit the Conference website at <http://icpinformation.org> , or contact Ramon Barnes , ICP Information Newsletter , Inc. , P. O. Box 666 , Hadley , MA01003-0666 , telephone : 239-674-9430 , fax 239-674-9431 , e-mail : wc2010@chem.umass.edu.