REMOTE SENSING FOR LAND & RESOURCES

doi: 10.6046/gtzyyg.2016.03.13

引用格式:李亮,梁彬,薛鹏,等. 矢量图约束的遥感影像分割算法[J]. 国土资源遥感,2016,28(3):80 - 85. (Li L, Liang B, Xue P, et al. Remote sensing image segmentation under vector map constraints [J]. Remote Sensing for Land and Resources,2016,28(3):80 - 85.)

矢量图约束的遥感影像分割算法

李亮,梁彬,薛鹏,应国伟(四川省第三测绘工程院,成都 610500)

摘要:为了解决矢量图约束下的遥感影像分割问题,提出了一种基于标记分水岭的带约束的影像分割方法。该方法首先将约束矢量图映射为影像中的边缘,在带边缘的影像上提取标记区域;然后采用面积约束法剔除伪标记区域,并利用优先级队列对未标记点进行泛洪;最后依据相似性测度对影像中的边缘点进行标号,将标号图矢量化获取影像分割结果。采用 QuickBird 影像进行了实验,结果表明:该方法能够实现矢量图约束下的影像分割,当影像数据量较大时,比 eCognition 软件中多尺度分割方法的运行效率高。

关键词: 矢量图约束: 影像分割: 标记分水岭: 优先级队列: 矢量化

中图法分类号: TP 751.1 文献标志码: A 文章编号: 1001 - 070X(2016)03 - 0080 - 06

0 引言

影像分割是将影像划分为若干个互不重叠的区域,各区域内部具有匀质性,而相邻区域间具有异质性。影像分割是面向对象影像分析理论的基础,在土地利用变化检测^[1-2]、土地覆盖分类^[3-4]及专题信息提取^[5-6]等领域应用广泛。

影像分割方法可以划分为区域增长法^[7]、边缘 检测法^[8]及区域合并法^[9-10]。区域增长法在种子 点基础上,依据一定相似性准则向外扩张形成同质 区域;边缘检测法通过边缘检测提取边缘像元,然 后连接成闭合边界;区域合并法以像元为最小区 域,采用一定的合并准则合并相邻区域,重复合并过 程直到无法合并为止。

标记分水岭算法是一种区域增长法^[11],将遥感影像依据梯度值模拟成一张地形图,梯度值越大则对应的高程越大。提取地形图中的盆地区域作为标记区域,模拟洪水淹没过程,在不同标记区域洪水的汇合处修筑大坝,大坝则对应影像中的边缘点。标记分水岭算法可以获取连续的单像元边缘,且分割效率高,成为影像分割的研究热点^[12-14]。但现有的

影像分割算法大多是在无约束条件下划分遥感影像,较少研究矢量图约束下的影像分割,无法将作为 先验知识的边界约束融入到影像分割中。

为此,本文研究了一种矢量图约束下的遥感影像分割算法。该算法通过将矢量图映射到遥感影像上形成边缘像元,并在此基础上利用标记分水岭算法实现影像的快速分割。

1 矢量图约束的影像分割定义

矢量图约束的遥感影像分割是在矢量图约束下,对影像进行的分割,又可称为二次分割。经过二次分割后,矢量图的边缘仍然保持为边缘。令待分割影像为R,约束矢量图为 $P = \{P_1, P_2, \cdots, P_m\}$,其中m表示矢量图中区域总数; $P_k(1 \le k \le m)$ 表示第k个约束区域。勾质性测度为H,则影像R在矢量图P约束下的分割结果为N个连通区域的集合。令 R_i, R_j 分别表示第i,j号连通区域的集合 $(1 \le i,j \le N)$,即 $R_i \in R, R_j \in R$ 。则二次分割结果满足6个条件: ① $\bigcup_{i=1}^{N} R_i = R$; ② $R_i \cap R_j = \emptyset$, $i \ne j$; ③ $H(R_i) =$ 真;④ $H(R_i \cup R_j) =$ 假, $R_i = R$,旬,有个

收稿日期: 2015-04-22; 修订日期: 2015-06-02

 $\{R_{k_1}, R_{k_2}, \cdots, R_{k_n}\}$,满足 $\bigcup_{l=1}^{n} R_{k_l} = P_k$,其中 $R_{k_l} \in \mathbf{R}$, k_l 为区域的编号, $1 \le k_l \le N$ 。条件①②和⑤确保影像被划分为N 个互不重叠的连通区域;条件③确保区域内部具有匀质性;条件④保证相邻区域具有异质性;条件⑥保证约束矢量图中的区域被划分为若干子区域。条件①—⑤是无约束影像分割需要满足的条件,条件⑥是矢量图约束下影像分割的加强条件。特别地,当约束矢量图中仅包含 1 个区域,且该区域为影像的外接矩形,此时约束条件下的影像分割就退化为无约束的影像分割;或者说,无约束的影像分割可视为在影像边界约束下的影像分割。

2 矢量图约束的影像分割方法

本文将约束矢量图的边界视为人工建成的大坝,在此约束条件下进行标记分水岭变换获取影像分割结果。首先,将约束矢量图中区域映射到遥感影像上形成闭合边缘;其次,提取影像中的标记区域;然后,采用面积约束条件剔除伪标记区域,并在标记区域基础上开始泛洪,泛洪时不同标记区域的交汇处为边缘像元,对所有的边缘像元依据一定准则进行标号;最后,对标号图进行矢量化。具体流程如图1所示。

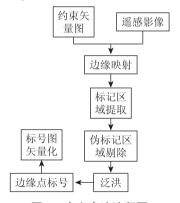


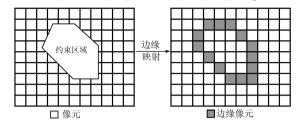
图 1 本文方法流程图

Fig. 1 Flow chart of the proposed method

2.1 边缘映射

边缘映射将约束矢量图中区域的边界映射到遥感影像上形成闭合边缘,从而在后续的泛洪过程中将洪水限制在约束区域内部,是实现矢量图约束下影像分割的关键。通过栅矢套合将矢量图套合在遥感影像上,然后利用计算机图形学中的直线光栅化算法——数值微分法(digital differential analyzer,DDA)将矢量图的边界映射为由连续像元组成的闭合边缘,并将闭合边缘上的像元标记为边缘像元。如图2所示,图中单元格表示栅格影像的像元。在

无约束条件下进行影像分割时,可不进行边缘映射,也可将影像四周边界像元映射为边缘像元。



(a) 约束区域与影像套合结果

(b) 边缘映射

图 2 边缘映射图 Fig. 2 Edge map

2.2 标记区域的提取及伪标记的去除

经过边缘映射后,影像像元划分为边缘像元及 非边缘像元2种。标记区域是非边缘像元中一系列 梯度值较小、空间上相邻像元的集合,对应着影像中 的内部区域。标记区域提取的关键在于标记点的提 取。标记点是影像中的内部点,梯度值较小;未标 记点是影像中边缘及其附近的点,梯度值较大;因 此可以通过设定一定阈值,依据

$$m(h,l) = \begin{cases} 0, & g(h,l) > T(h,l) \\ 1, & g(h,l) \le T(h,l) \end{cases}$$
 (1)

将二者区分开。式中: h 和 l 分别为像元的行号和列号; g(h,l) 为像元的梯度值; T(h,l) 为像元对应的阈值,可以是与位置无关的全局阈值,也可为与位置相关的局部阈值。m(h,l) 取值为 1 时表示标记点,取值为 0 时表示未标记点。标记点提取后,采用聚类的方法获取标记区域,并且对其依次进行标号。受噪声及暗纹理的影响,影像中会存在较多伪标记区域,导致过分割现象严重,因此需要对伪标记区域进行剔除。由于伪标记区域通常具有较小的面积,因此可以通过最小面积约束来剔除。

区域的层次关系在面向对象的影像分析中十分 关键,因此需要记录包含标记区域的约束区域,即 "父区域"。受边缘像元的约束,标记区域会被某约 束区域包含。在标记区域中任选一个像元点,利用 点在多边形内部算法即可获取包含该点的约束区域,这个区域即为标记区域的父区域。

2.3 泛洪

标记区域提取后,影像像元划分为标号点、未标号点及边缘点3种。泛洪是在标记区域基础上,对未标号点进行标号的过程。Meyer 提出了一种基于不同优先级队列的标记分水岭算法^[15],其不需要对原始梯度图进行修正,直接在原始梯度图上利用队列数组进行泛洪。Meyer 方法的分割速度较快,且

空间占用率低,因此本文采用 Meyer 方法进行泛洪。

Mever 方法的核心思想是利用不同优先级的队 列来模拟洪水淹没的过程。像元的梯度值越小,对 应的优先级越高。令梯度影像的量化等级为L,泛 洪的实现过程为.①开辟1个大小为L的队列数 组,初始时为空;②遍历影像,将与标记区域相邻的 未标号像元依据其梯度值添加到对应的队列后端 中,设置优先级为0的队列为当前队列;③取出当 前队列前端的像元,遍历其邻域,考察其邻域已标号 的像元, 若只有1种标号, 则将该标号赋值给当前像 元: 若有2种及以上的标号,则该像元为分水岭,标 记为边缘像元; ④经过步骤③, 若该像元已经被标 号,则将其邻域的未标号像元依据梯度值添加到对 应的队列后端中,若梯度值小于当前处理队列的优 先级,则添加到当前处理队列的后端; ⑤依次从当 前队列取出前端的像元,迭代执行③④两步,当前队 列为空时,移动到下一个队列迭代执行③④,所有的

队列均为空时算法结束。泛洪结束后,遥感影像中的像元除边缘像元外均已被标号。

2.4 边缘像元的标号

为了获取完整的影像标号图,需要对边缘像元进行标号。遍历边缘像元邻域内的像元,寻找与边缘像元光谱特征最相似的已标号像元,将其标号值赋值给边缘像元。2 个像元点 p 和 q 的相似性测度 d 的计算公式为

$$d = \sqrt{\frac{1}{B} \sum_{b=1}^{B} (x_p^b - x_q^b)^2} , \qquad (2)$$

式中: B 为影像的波段数; x_p^b , x_q^b 分别表示 p 和 q 号像元在第 b 个波段上的灰度值。

采用栅格矢量化的方法将标号图转化为矢量数据,用来存储影像分割结果。矢量数据不仅能存储影像分割所得区域的边界,还能存储区域的属性,如父区域和特征等。本文方法的示意图如图 3 所示。

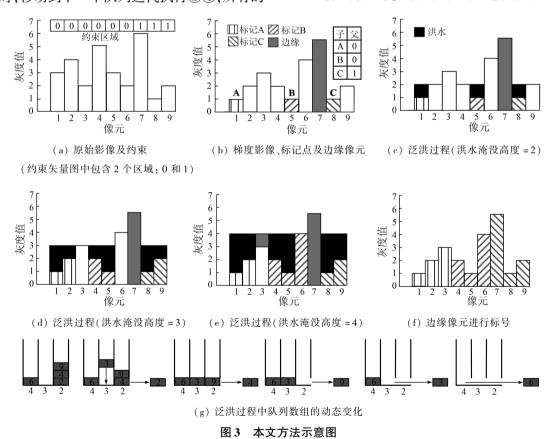


Fig. 3 Sketch map of the proposed method

3 实验及分析

文中实验数据为武汉地区 2002 年土地利用矢量图及 2005 年 QuickBird 遥感影像。土地利用矢量图采用高斯 - 克吕格投影, 包含 220 个多边形。遥

感影像大小为 3 492 像元 × 2 818 像元,包含蓝、绿、红及近红外 4 个波段,空间分辨率为 2.4 m。以 2002 年土地利用矢量图为约束,对 2005 年遥感影像进行二次分割。图 4 为 2002 年土地利用矢量图套合在 2005 年遥感影像上的结果。

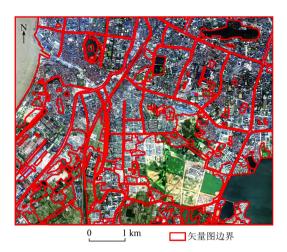


图 4 2002 年土地利用矢量图与 2005 年 QuickBird 遥感影像的叠加图

Fig. 4 QuickBird image of 2005 overlapped with land use vector map of 2002

3.1 影像分割实验

文中采用文献[14]中的自适应方法提取标记。 全局比例系数 α 与调整系数 coef 是自适应标记提取 方法的关键。对地物类型单一、分布简单的影像,设 定较大的 α 值, 否则设定较小的 α 值; coef 通常取值 $0.6 \sim 0.8$ 。不同的影像对应的最优分割参数也不同, 文中采用反复尝试法, 设定标记的全局比例系数 $\alpha = 0.4$, 调整系数 coef = 0.7, 面积阈值 = 300。图 5 为 2002 年矢量图约束下 2005 年影像的分割结果图, 其中包含区域 1634 个。

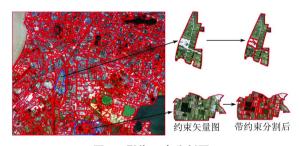
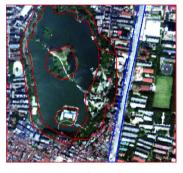


图 5 影像二次分割图 Fig. 5 Resegmentation map

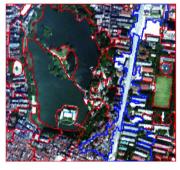
在矢量图约束下进行影像分割,可以充分利用已有的边界先验知识,从而有效抑制影像欠分割现象。图 6 为有约束及无约束 2 种条件下的影像分割结果。



(a) 约束矢量图



(b) 有约束条件下的影像分割



(c) 无约束条件下的影像分割

图 6 不同分割结果对比图

Fig. 6 Comparison with different segmentation results

对比图 6(b)(c)可以看出,无约束分割时,由于道路及其两边房屋的反射率均较强,在遥感影像上具有较高的亮度值,光谱特征相似,因此分割时容易将二者合并在一起,欠分割较为严重,导致道路的边缘定位精度较差;有约束分割时,道路的边缘则可得到较好的控制。

3.2 分割效率实验

本实验中分割耗时情况见表 1, 总耗时 11.4 s。

表1 分割耗时表

Tab. 1 Segmentation time table

流程	边缘 映射	标记区域提取及 伪标记区域去除	泛洪	边缘像 元标号	栅格矢 量化	总耗时
耗时/s	1.7	4.3	1.1	0.2	4.1	11.4

从表1可以看出,标记区域提取在本文方法中 耗时最长,达到4.3 s。这是因为标记区域提取中包 含梯度影像生成及高斯滤波、标记区域聚类与标号等操作,因此耗时较长;影像中的边缘像元及标记像元不需要进行泛洪,参与泛洪的像元数相对整幅影像较少,因此泛洪在本文方法中耗时较短,仅为1.1 s。

为了验证本文方法的运行效率,将其与 eCognition 软件进行对比。在 eCognition 软件的多尺度分割模块中,设定约束矢量图为专题图,遥感影像为待分割数据。针对不同大小的影像,2 种方法的分割耗时如图 7 所示。可以看出,当影像较小时,本文方法与 eCognition 软件分割方法的效率相差不大;然而当影像增大到 3 492 像元×2 818 像元后,eCognition 软件分割方法耗时大幅提升,而本文方法的耗时保持平缓增长。这表明本文方法的分割效率优于eCognition 软件的分割效率,适用于大数据量遥感影像的分割。

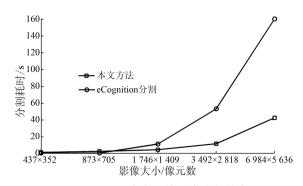


图 7 不同影像大小的影像分割效率

Fig. 7 Image segmentation efficiency of different image sizes

4 结论

本文提出一种基于标记分水岭的带约束影像分割方法,实现了矢量图约束下的影像分割。该方法将约束矢量图边界映射到遥感影像上形成边缘,提取影像中标记区域,利用带有优先级的队列数据进行快速泛洪,对边缘像元进行标号,矢量化标号图得到分割结果。在 QuickBird 遥感影像上的实验验证了本文方法的有效性及高效性,同时得出以下结论:

- 1)本文方法适用于大数据量遥感影像的二次分割,其耗时随着影像数据量的增大而平稳增大,因此当影像数据量较大时,其分割效率依然较高。
- 2)本文方法适用于无约束遥感影像的分割。 无约束条件下进行影像分割,可以视为在影像外接 矩形约束下的影像分割。
- 3)如何快速准确地提取标记区域是下步研究 工作的重点。

参考文献(References):

- [1] Im J, Jensen J R, Tullis J A. Object based change detection using correlation image analysis and image segmentation [J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(2):399-423.
- [2] Chen G, Hay G J, Carvalho L M T, et al. Object based change detection [J]. International Journal of Remote Sensing, 2012, 33 (14):4434-4457.
- [3] Lizarazo I, Elsner P. Fuzzy segmentation for object based image classification [J]. International Journal of Remote Sensing, 2009, 30(6):1643-1649.
- [4] 蔡银桥,毛政元. 基于多特征对象的高分辨率遥感影像分类方法及其应用[J]. 国土资源遥感,2007,19(1):77-81. doi:10. 6046/gtzyyg. 2007.01.17.
 Cai Y Q, Mao Z Y. A method for classification of high resolution remotely sensed images based on multi-feature object and its application[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2007,19(1):
- [5] 曹 凯,江 南,吕 恒,等. 面向对象的 SPOT5 影像城区水体信息提取研究[J]. 国土资源遥感,2007,19(2):27 30. doi:10. 6046/gtzyyg. 2007.02.07.

77 - 81. doi:10.6046/gtzyyg.2007.01.17.

- Cao K, Jiang N, Lyu H, et al. The extraction of water information in urban areas based on SPOT5 image using object oriented method [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2007, 19(2):27 30. doi:10.6046/gtzyg.2007.02.07.
- [6] 孙永军,童庆禧,秦其明. 利用面向对象方法提取湿地信息 [J]. 国土资源遥感,2008,20(1):79-82. doi:10.6046/gtzyyg. 2008.01.18.
 - Sun Y J, Tong Q X, Qin Q M. The object oriented method for wetland information extraction [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2008, 20(1):79 82. doi:10.6046/gtzyyg, 2008.01.18.
- [7] 张志禹,孟令辉,雷 涛. 自适应梯度重建分水岭分割算法[J]. 中国图象图形学报,2014,19(10):1430-1437.
 - Zhang Z Y, Meng L H, Lei T. Adaptive gradient reconstruction for watershed based image segmentation [J]. Journal of Image and Graphics, 2014, 19(10):1430 1437.
- [8] 黄 亮,左小清,冯 冲,等. 基于 Canny 算法的面向对象影像分割[J]. 国土资源遥感,2011,23(4):26-30. doi:10.6046/gtzyyg.2011.04.05.
 - Huang L, Zuo X Q, Feng C, et al. Object oriented image segmentation based on canny algorithm [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2011, 23 (4):26 30. doi:10.6046/gtzyyg. 2011.04.05.
- [9] Haris K, Efstratiadis S N, Maglaveras N, et al. Hybrid image segmentation using watersheds and fast region merging [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7(12):1684-1699.
- [10] 王学松,周明全,樊亚春,等. 彩色图像色度距离权值的图论分割算法[J]. 中国图象图形学报,2011,16(2):221-226.
 Wang X S,Zhou M Q,Fan Y C,et al. The algorithm of graph cut using HSI weights in color image segmentation [J]. Journal of Image and Graphics,2011,16(2):221-226.
- [11] Li D R, Zhang G F, Wu Z C, et al. An edge embedded marker based watershed algorithm for high spatial resolution remote sensing image segmentation [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19 (10):2781 – 2787.
- [12] 高 丽,杨树元,李海强. 一种基于标记的分水岭图像分割新算法[J]. 中国图象图形学报,2007,12(6):1025-1032.

 Gao L, Yang S Y, Li H Q. New unsupervised image segmentation via marker-based watershed[J]. Journal of Image and Graphics, 2007,12(6):1025-1032.
- [13] 陈 波,张友静,陈 亮. 标记分水岭算法及区域合并的遥感图像分割[J]. 国土资源遥感,2007,19(2):35 38. doi:10.6046/gtzyyg.2007.02.09.
 - Chen B, Zhang Y J, Chen L. Segmentation of the remote sensing image based on method of labeling watershed algorithm and region—al merging[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2007, 19 (2);35-38. doi;10.6046/gtzyyg. 2007.02.09.
- [14] 巫兆聪,胡忠文,欧阳群东.一种区域自适应的遥感影像分水岭分割算法[J].武汉大学学报:信息科学版,2011,36(3):293-296
 - Wu Z C, Hu Z W, Ouyang Q D. A regional adaptive segmentation algorithm for remote sensing image [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2011, 36(3):293-296.
- [15] Meyer F. Color image segmentation [C]//IEEE international conference on image processing and its applications. Maastricht; IET, 1992.

Remote sensing image segmentation under vector map constraints

LI Liang, LIANG Bin, XUE Peng, YING Guowei (The Third Academy of Engineering of Surveying and Mapping, Chengdu 610500, China)

Abstract: In order to solve the problem of remote sensing image segmentation under vector map constraints, this paper proposes a marker – based watershed method for remote sensing image segmentation under vector map constraints. Firstly, the constrained vector map is mapped to the edge of the image. The markers are extracted in the image with edge. Secondly, the pseudo marked areas are eliminated by area constraint. The flood for unmarked pixels is implemented by a priority queue arrow. Lastly, the edge pixels in the image are labeled by a similarity measurement. The label image is used for vectorization to get the segmentation result. The experimental result on the QuickBird image shows that the proposed method can realize image segmentation under vector map constraints. Compared with multiresolution segmentation method in eCognition software, the proposed method is more efficient when the remote sensing image is large.

Keywords: vector map constraints; image segmentation; marker – based watershed; priority queue; vectorization 第一作者简介: 李 亮(1987 –),男,博士,主要从事遥感影像的智能化解译研究。Email: liliang1987wuda@163.com。

(责任编辑:邢 宇)