

文章编号:1001-9014(2010)04-0312-04

一种边界引导的多尺度高分辨率遥感图像分割方法

谭玉敏¹, 槐建柱¹, 唐中实²

(1. 北京航空航天大学 交通科学与工程学院, 北京 100191; 2. 清华大学 土木工程系, 北京 100084)

摘要:针对高分辨率遥感图像分割过程中区域合并复杂性问题,提出了一种基于边界引导的多尺度遥感图像分割算法.一方面应用 SUSAN 算子提取高分辨率遥感图像中地物的边界用于限制区域增长过程;另一方面进行两阶段增长,首先应用基于图的分割算法进行基于像素的区域生长,然后进行考虑对象特征信息的区域合并.对宜昌城区某处融合后的 QuickBird 彩色图像进行了实验,并分别与无边界引导分割以及 eCognition 平台下图像分割效果进行了对比.结果表明,该方法可以有效抑制传统图像分割算法在低对比度区的区域融合问题,突破了分割尺度参数不能在全图取得合理分割的局限性.

关键词:边界引导;遥感图像分割;区域合并
中图分类号:TP751 文献标识码:A

EDGE-GUIDED SEGMENTATION METHOD FOR MULTISCALE AND HIGH RESOLUTION REMOTE SENSING IMAGE

TAN Yu-Min¹, HUAI Jian-Zhu¹, TANG Zhong-Shi²

(1. School of Transportation Science & Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China;

2. Department of Civil Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In order to overcome the complexity of region merging in the segmentation of high resolution remote sensing images, an edge-guided segmentation method for multi-scale and high resolution remote sensing image was proposed. First, SUSAN operator was used to extract feature edges from the original test image. Then, a graph-based segmentation algorithm was used in the first-stage image segmentation and the following region merging stage, and the extracted edges were efficiently used to guide merging process. To validate the proposed method, two experiments were performed on QuickBird image. The results were compared with the segmentation results of eCognition and method without edge-guide. The results show that this proposed method can efficiently depress the region merging in low-contrast areas for the traditional image segmentation algorithms, and make it possible to choose a reasonable segmentation scale in the whole image.

Key words: edge-guided; remote sensing image segmentation; region merging

引言

图像分割是高分辨率遥感图像信息提取和图像分类的重要环节^[1,2],由于高分辨率遥感图像的大尺寸、多波段、地物类型复杂多变以及呈现出明显的纹理特征和多尺度特征,使得高分辨率遥感图像分割成为最重要也是最困难的环节^[3].目前面向对象图像分割算法的主要问题在于计算效率较低、区域合并顺序难以合理确定.区域合并处理的复杂性主要来源于三个方面^[4]:(1)区域描述子的升级,(2)相邻区域相似度的计算,(3)区域合

并终止条件的确定.为了解决这些问题,提高图像分割的效率,Kostas Haris 等^[5]提出在区域邻接图的基础上增加最近邻图来提高区域合并的效率;D. J. Robinson 等^[6]在 SAR 图像分割中应用 Schedule 准则来判断两个区域能否合并,其提出的局部最优合并与最近邻图有异曲同工之妙;类似算法在商业遥感处理软件 ENVI 中已经实现并应用于遥感图像分割^[7].

提出了一种边界引导的面向对象多尺度图像分割算法,该算法的基本思路是应用事先提取出的边界信息指导后续的区域合并过程.

收稿日期:2009-05-12,修回日期:2010-01-26

Received date: 2009-05-12, revised date: 2010-01-26

基金项目:国家自然科学基金(40901198);空间数据挖掘与信息共享教育部重点实验室(福州大学)开放基金(200805);极地测绘科学国家测绘局重点实验室开放基金(200810)

作者简介:谭玉敏(1977-),女,山东临沂人,讲师,博士,主要研究方向为遥感信息自动提取. E-mail: tanyu@buaa.edu.cn.

1 方法

1.1 应用 SUSAN 算子提取边界

边界提取的算法有多种,如广为应用的 Canny 算子和 Marina Mueller 等^[8]提出的分级法边界提取等,考虑到算法运行效率和所提取边界结果的鲁棒性(参数设置对结果影响不是很大),本文在边界提取过程中选择了 SUSAN 算子^[9],它通过一种新的非线性滤波方法找出图像中的边界点。

SUSAN 算子能够在拐角处得到较为连续的边界,而且具有优良的运行速度,得到近似的处理效果比 Canny 算子的速度快 10 倍;另外,处理结果与所用模板的尺寸和颜色对比度参数的选取相关性不大。这是在边缘提取时选用 SUSAN 方法的主要原因。SUSAN 算子提取出的边界用于确定两个区域之间的边界强度,在区域合并中判断两个区域是否可以合并。

1.2 基于图的分割——第一阶段分割

在这个阶段,主要借鉴并应用 Felzenszwalb 等^[10]提出的方法进行计算,其概念清楚,思路清晰,运行效率高。初始情况下,区域面积很小,形状特征所起作用不明显,且会造成计算复杂,因此在初始的图像分割阶段仅考虑光谱信息是足够的。

用 $\text{Dif}(C_1, C_2)$ 表示两个区域的差异,定义为两个区域之间连接边的最小长度,区域内部异质性的用该区域内部的最大连接边长来表征,表达式为

$$\text{Int}(C) = \max_{e \in \text{MST}(C, E)} w(e), \quad (1)$$

其中, $\text{MST}(C, E)$ 表示区域 C 的最小生成树。因为在区域面积很小的情况下, $\text{Int}(C)$ 不能很好地估计数据的局部特征,所以引入一个考虑区域面积的函数来补偿。当区域很小的时候,合并需要满足强的边界特征,即

$$\tau(C) = k / |C|, \quad (2)$$

其中, $|C|$ 表示区域 C 的面积, k 是一个限定值, k 设定的越大,分割结果得到的区域就越大。引入该补偿函数后,区域的内部异质性函数变为

$$\text{MInt}(C_1, C_2) = \min(\text{Int}(C_1) + \tau(C_1), \text{Int}(C_2) + \tau(C_2)) \quad (3)$$

区域合并的判据是

$$D(C_1, C_2) = \begin{cases} \text{true}, & \text{if } \text{Dif}(C_1, C_2) > \text{MInt}(C_1, C_2) \\ \text{false}, & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

1.3 边界引导的区域合并——图像分割第二阶段

提出了一个新的区域描述子——边界点比率 $epr = nep/nbp$, 即两相邻区域边缘上的边界点数与相邻像素点数的比值。这个参数可以在区域合并的

过程中,限制区域跨界生长,防止区域的过度合并,将区域的形状信息和边界信息结合起来,引导区域生长的过程。

边界引导区域合并算法的基本过程是。

(1) 按照上述方法计算各区域距离,在边界点比率满足初始限值的前提下,找到最佳相互合适的两个待合并区域。这样就避开了 eCognition 中所用区域合并算法的合并顺序确定问题。

(2) 然后将这两个区域合并,对新形成的区域和它的邻域进行区域描述子的升级。升级的过程主要包括新形成区域的描述子的赋值和被合并两个区域的所有邻居的描述子的信息的更新。

(3) 重复这个基本过程,直到最佳相互合适的待合并区域的距离超过了限定值 λ 或者只有一个区域。

用来合并两个区域 O_i 和 O_j 的判据为 $\lambda \geq t_{i,j}$, 其

中 $t_{i,j} = \frac{|O_i| |O_j|}{|O_i| + |O_j|} \|u_i - u_j\|^2$, $\partial(O_i, O_j)$ 表示区域 O_i 和 O_j 的公共边界, $\ell(\cdot)$ 表示物体的长度, $|\cdot|$ 表示一个区域的面积, u_i 和 u_j 分别表示两个区域各自的特征向量, $\|\cdot\|$ 表示一个合适的向量的范。例如对于有 k 个波段的图像来说, $\|u_i - u_j\| = \sqrt{\sum_{t=1}^k (u_i^t - u_j^t)^2}$, u_i^t 表示 u_i 在第 t 波段的坐标值。 $t_{i,j}$ 可以看作两个区域的距离。

2 实验结果与分析

为检验利用本方法分割高分辨率遥感图像的效果,选取的实验数据为 2005 年 7 月 15 日拍摄的宜昌市部分区域融合后的 QuickBird 数据,图像的尺寸为 744×540 (见图 1(a))。平台环境为 Windows XP 操作系统,系统配置 1G 内存, CPU 2.66GHz, 在 vc++6.0 环境下编译。在处理开始前,先对图像进行了 $\sigma = 0.8$ 的高斯滤波。

2.1 边界点提取

图 1 为不同参数下利用 SUSAN 算子提取的边界结果,其中 t 是亮度差异的限定值。

从图中可以看出,随着 t 的增加,边界细节逐渐减少,在 $t = 10$ 时,很多细节显示出来,这样会阻止区域的有效合并,从而造成类似分水岭分割的结果(即过分割),在 $t = 30$ 时,大量的边界丢失,难以控制区域的生长过程,所以本文中采用 $t = 20$ 。在 $t = 20$ 时, 3×3 模板与 37 像素圆形模板比

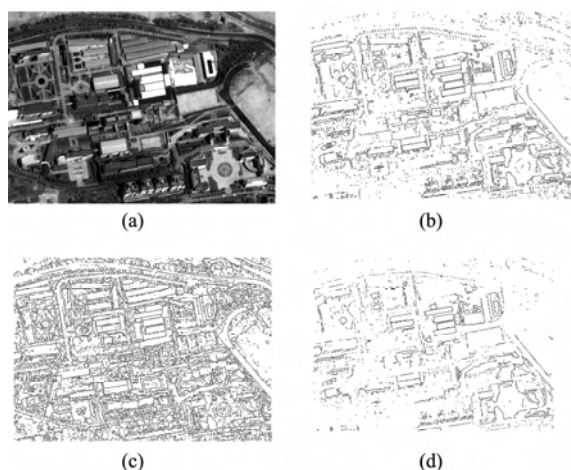


图1 应用SUSAN算子提取图像边界 (a)原始图像 (b) $t=20$ 的边界提取结果 (c) $r=3.5, t=10$ (d) $r=3.5, t=30$
Fig.1 Extracted edges using SUSAN (a)original image (b) $t=20$ (c) $r=3.5, t=10$ (d) $r=3.5, t=30$

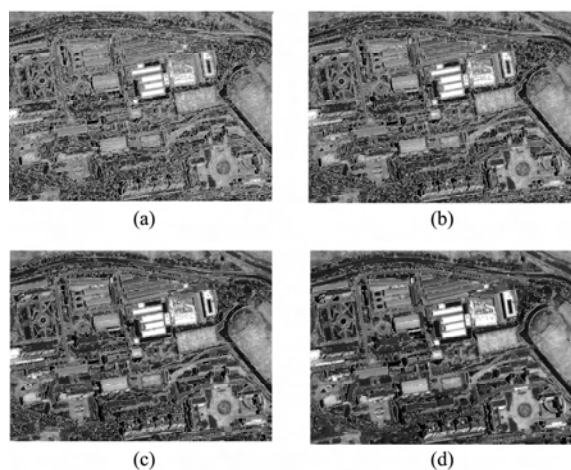


图2 不同尺度下基于图的初步分割效果 (a) $k=30$ (b) $k=50$ (c) $k=100$ (d) $k=200$
Fig.2 The first-step segmentation results under different scales (a) $k=30$ (b) $k=50$ (c) $k=100$ (d) $k=200$

较而言连通性差些,考虑区域更小时在图像细节上差别不大.所以本文使用37像素的模版,保证好的连通性.

2.2 基于图的分割——图像分割第一步

不同参数下的分割效果如图2所示.这四幅图像分别对应 $k=30, 50, 100, 200$ 的情况,得到的区域的数目分别是 17897, 10769, 5860, 3593, 没有进行过其它的区域合并处理和清除小区域的操作.

从图中可以看出,随着 k 的增大,区域数目减少,当 $k \leq 100$ 时, k 值略大于区域平均大小,所以为了保证区域在下一步合并前处于过度分割状态, k 应略小于欲提取对象区域的最小尺寸.融合后

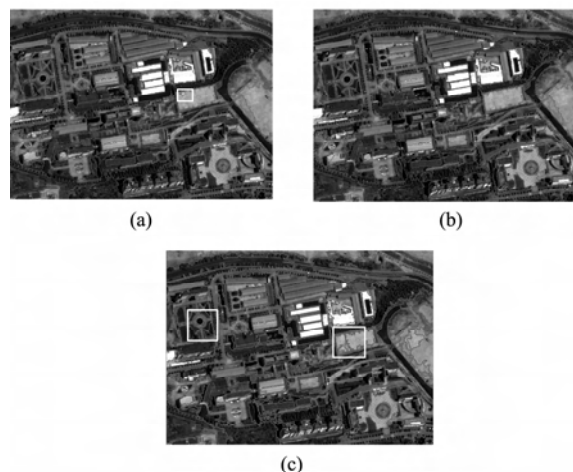


图3 分割结果对比 (a) $\lambda_{\text{stop}}=4800, \text{epr}=1.0$ 下的算法分割结果 (b) $\text{epr}=0.8, \lambda_{\text{stop}}=20000$ 下的算法结果 (c) $f=85, \omega_{\text{shape}}=0.1, \omega_{\text{smoothness}}=0.5$ 下 eCognition 中的处理结果
Fig.3 Comparison of image segmentation results (a) segmentation result with $\lambda_{\text{stop}}=4800, \text{epr}=1.0$ (b) segmentation result with $\text{epr}=0.8, \lambda_{\text{stop}}=20000$ (c) segmentation result of eCognition with $f=85, \omega_{\text{shape}}=0.1, \omega_{\text{smoothness}}=0.5$

QuickBird 图像分辨率基本能达到 0.6m,为了保证图像中的小物体不被吞噬,而且保证区域数量不过大以致影响后续的区域合并效率,取 $k=50$ 是合适的.为了减少人工干预, k 值可以通过考虑图像源数据而确定.

2.3 边界引导区域合并——遥感图像分割第二步

图3中(a)和(b)的初始分割都是 $k=50$ 的基于图的分割. $\text{epr}=1.0$ 表示不考虑边界因素, (a)中区域个数为 843, 图中所标识的框出区域说明在无边界限制的情况下,光谱信息占主导,导致该区域没有与周围区域合并.

在第二阶段区域合并中如考虑边界引导因素,在 $\text{epr}=0.8, \lambda_{\text{stop}}=20000$ 条件下分割出 799 个区域,对尺寸小于 20 的小区域进行合并操作后的结果见图3(b),对比图3(a)可以看出,边缘引导的确抑制了某些几何关系不合理的区域的合并,调整了区域合并的顺序.

2.4 本文结果与 eCognition 平台下分割效果的对比

eCognition 是第一个面向对象的遥感图像分析软件^[11],其提出的多尺度分级分割方法是高分辨率遥感图像分割的典范,图3(c)即为 eCognition 平台下按照实验图像区典型地物尺度进行分割后的结果图,这时得到的分割结果为 eCognition 中多次试验后综合处理后的最好结果.

由图 3 可以看出,在一定的尺度下, eCognition 区分不同的地物需要分别设定形状信息和颜色信息的权重,而且不同的地物尺寸不一致,导致有的区域已经产生过度合并的同时另一部分区域尚未有效合并.与基于边界引导的多尺度遥感图像分割算法的处理结果图 3(b)对比可以看出,其边缘平滑性相差不大,而图 3(b)中的区域合并效果明显好于图 3(c)中 eCognition 的效果. eCognition 的问题之一在于将所有的判别条件化为一个函数进行判断,不能有效地适应图像中不同尺度的地物,在某个参数设置 f 下,既有过度分割,又有过度融合,说明增大 f 会加剧融合,减小 f 会加剧分割,这种两难境地是 eCognition 不得不面对的.

经过多次实验,认为在一般情况下,为了达到理想效果, λ 取 3000 左右比较合适.在区域分割完成后,进行必要的去除小区域和合并被包含的区域,有助于减少图像的分裂程度,在一定程度上改善最终分割结果.

3 结论

提出的边界引导的区域合并能够有效地对图像进行分割.较同类软件表现出了一定的优势,只是在参数的调整方面尚需要进行实验确定.另外,基于决策树的图像分类可以在良好的分割的基础上进行图像分类,显然是一个优秀的决策模糊算法,可以改进硬分类产生的不足,是神经网络和概率方法之外的另一种强有力的软分类器,基于边界引导的多尺度遥感图像分割算法在时间效率上仍然需要进一步改进,包括数据结构的改进和代码优化等,这将在后期的研究工作中进一步实现.

REFERENCES

- [1] XIAO Peng-Feng, FENG Xue-Zhi, ZHAO Shu-He. Segmentation of high-resolution remotely sensed imagery based on phase congruency[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*. (肖鹏峰,冯学智,赵书河.基于相位一致的高分辨率遥感图像分割方法. *测绘学报*), 2007, **36**(2): 146—151.
- [2] Wuest B, Zhang Y. Region based segmentation of Quick-Bird multispectral imagery through band ratios and fuzzy comparison[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2009, (64): 55—64.
- [3] Chen Zhong. Research on high resolution remote sensing image classification technology[D]. (陈忠.高分辨率遥感图像分类技术研究), 2006.
- [4] Mealy B J. Fast region merge processing for watershed transforms[R]. UCSC-CRL-02-39. 2002. 12.
- [5] Haris K, Efstratiadis S N, Katsaggelos A K. Hybrid image segmentation using watersheds and fast region merging[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1998, **7**(12): 1684—1699.
- [6] Robinson D J, Redding N J, Crisp D J. Implementation of a fast algorithm for segmenting SAR imagery[R]. 2002. 1. www.dsto.defence.gov.au/corporate/reports/DSTO_TR_1242.pdf.
- [7] ENVI feature extraction module user's guide[M]. Feature Extraction Module Version 4. 6 December, 2008 Edition.
- [8] Mueller M, Segl K, Kaufmann H. Edge- and region-based segmentation technique for the extraction of large, man-made objects in high-resolution satellite imagery[J]. *Pattern Recognition*, 2004, **37**(8): 1619—1628.
- [9] Zhou Y, Starkey J, Mansinha L. Segmentation of petrographic images by integrating edge detection and region growing[J]. *Computers & Geosciences*, 2004, **30**(8): 817—831.
- [10] Felzenszwalb P F, Huttenlocher D P. Efficient graph-based image segmentation[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, **59**(2): 167—181.
- [11] AG D. *Definiens developer 7 user guide*[M]. 2007, Germany.