

标记分水岭算法及区域合并的遥感图像分割

陈波^{1,2}, 张友静², 陈亮^{1,2}

(1. 河海大学水资源环境学院, 南京 210098; 2. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210098)

摘要: 传统的分水岭算法通常对梯度图像进行无标记分割, 其结果是容易造成过度分割。本文采用了一种基于标记的分水岭算法, 首先, 利用 Sobel 边缘算子对原遥感图像进行梯度重建, 获得梯度幅值图像, 同时计算待分割区域的周长、面积和形态因子, 并对其进行标记; 然后, 利用距离函数图标定种子法和等值线跟踪法获得初始分割图像; 最后, 利用改进的区域合并方法获得最终的分割结果。实验结果表明了该方法的有效性。

关键词: 遥感图像; 标记; 分水岭算法; 分割; 区域合并

中图分类号: TP 75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-070X(2007)02-0035-04

0 引言

分水岭算法是一种数学形态学的图像分割方法^[1], 广泛应用于医学图像处理^[2]和视频处理^[3]等领域。传统分水岭算法能够准确定位边缘, 具有运算简单、易于并行化处理等优点, 但同时也存在一些缺陷: ①对图像中的噪声极为敏感。由于输入图像往往是梯度图像, 原始图像中的噪声能直接影响图像的梯度, 易于造成分割的轮廓偏移; ②易于产生过分割。由于受噪声和平坦区域内部细密纹理的影响, 传统算法检测的局部极值过多, 在后续分割中出现大量的细小区域; ③对低对比度图像的计算易丢失重要轮廓。在这种情况下, 区域边界像素的梯度值较低, 目标的重要轮廓容易丢失。

基于标记的分水岭算法采用具有不同优先级的队列和先进先出的数据结构来实现, 其优先级由像素取值决定, 相同优先级的像素, 先放入队列的先处理, 不同优先级的像素, 高优先级的像素优先处理。处理时, 先将梯度值较小的点按大小排序放入队列中, 其中, 低梯度值对应于高优先级, 然后依次从队列中取出一个种子像素, 同时判断其相邻像素是否已标记, 如果未标记, 则置为与该种子像素同样的标记, 并按该相邻像素的值放入对应的优先级队列中, 如果已标记, 则不做处理。如此处理, 直至所有的队列为空, 即得到对于参考图像的区域表示, 再将所有的区域边界像素取出, 就得到空间分割结果。该算法可以起到连接不同形态大区域、消灭小区域和抑制过度分割的作用。据此, 本文针对 SPOT 5 多光谱

遥感图像, 提出了一种基于距离变换图搜索种子点的分水岭算法及改进区域合并的遥感图像分割方法。

1 分割方法

1.1 梯度幅值计算及区域增长算法

遥感图像的梯度计算有多种方法, 一般是利用梯度算子在各通道上进行操作, 然后通过线性组合得到梯度幅值。本文在 RGB 彩色空间, 利用 3 像元 × 3 像元的 Sobel 梯度算子^[4]在各波段上进行操作, 然后通过简单的线性组合得到梯度幅值。由 Sobel 算子得到的梯度幅值图像依然存在着很多干扰信息, 可以通过采用特殊的区域增长算法去除, 其主要步骤为:

首先, 由于梯度幅值图像在对象的边缘处有较高的像素值, 因此, 以 Sobel 检测的梯度边缘图像像素点为搜索起始点, 采用 8 向链码对各波段图像进行区域跟踪。

其次, 将得到的链码转化为线段编码。线段编码是一种比较常用的区域描述方法, 其思想是将区域看作由若干条线段组成, 每条线段以起始点与终点坐标来表示。

然后, 利用前面得到的链码以及线段编码计算出各个分割区域的周长、面积和形态因子。其计算公式为

$$F = L^2 / 4\pi S \quad (1)$$

式中, F 为形态因子; L 为链码长度; S 为区域像素个数。

最后,依据周长、面积以及形态因子对区域图像进行颜色填充。填充的目的主要是使已经被标注的边缘像素不再参加边缘跟踪,加快算法的计算速度。

1.2 标记分水岭算法

分水岭算法的基本思想是根据水面浸没地形的过程提出来的,如图1所示。它是一种基于数学形态学的图像分割算子,可将图像分解为若干个相似而互不重叠的区域。其完整的描述见参考文献[5]。

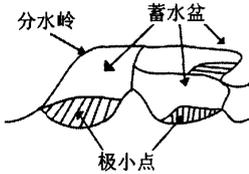


图1 水面浸没地形

传统的分水岭算法通常对梯度图像进行无标记分割,其缺陷是容易造成较严重的过分割。解决办法通常是对分割区域进行标记,本文采用的标记方法是依据距离变换图搜索种子点[6]:

首先,对1.1节中得到的区域图像进行距离变换,得到一系列层层嵌套的封闭等值线图[7]。

其次,根据距离函数局部最大值点确定种子点。在同一区域可能得到多个种子点,这时需要对种子点采取种子合并的后处理过程。方法是看同一区域的两个种子点之间的距离是否大于两者中距离值较大的那个,如果小于这个值,就只留下距离值较大的种子点。如此处理之后,每个区域就只有一个种子点,即种子点的个数就是区域的个数。

最后,依据距离函数等值线确定分割点,进行图像分割。由距离变换图可知,对于连通的区域,其分水线也是连通的。设置一个探针,由种子点出发沿等值线向外作环形运动,确定集水盆地,结果受两个条件限制:一是探针运动在原始集合内,二是等值线互不粘连。进而可以确定分割点。

2 区域合并

目前,尽管对图像分割已经进行了大量研究,并提出了各种各样的算法,但因为绝大多数分割算法都是针对一个具体问题而提出的,还没有一种适合于所有图像的分割算法,分水岭算法也存在一定的过分割现象。目前,对区域合并算法研究较多的还是区域灰度的相似性,但是,有时候区域目标不一定是以均值亮度的形式来区别于背景的,因为它很可能是以纹理的方式提供关于区域平滑、稀疏、周期或准周期的描述。因此,本文提出了一种改进的区域合并方法,该方法采用了一种新的数据结构来描述

区域邻接图,同时有效考虑到区域的纹理特征对区域相似度的影响。在合并区域的过程中,面积较小的区域,由于形状描述不准确,以灰度相似度为主;面积较大的区域,应该尽量保证合并后的区域和原来的两个区域有相似的灰度和几何形状,以纹理对比度为主。

2.1 区域相似性度量

区域相似度是区域合并方法的一个非常重要的概念,它直接影响区域合并的顺序和合并的次数等,从而直接影响合并的结果。本文以灰度相似度和纹理对比度作为区域相似性度量指标。

2.1.1 灰度相似度

设 R_i 和 R_j 是两个相邻的区域,且 R_i 面积小于 R_j 面积。紧性定义为[8]

$$comp = (region_border_length)^2 / (4\pi region_area) \tag{2}$$

式中, $region_border_length$ 为区域边界长度; $region_area$ 为区域面积。可见,紧性取值范围为 $[1, +\infty)$ 。

区域灰度相似度为

$$sim = \frac{\overline{X_i^T X_j^T}}{\|X_i\|_2 \|X_j\|_2} \tag{3}$$

式中, X_i, X_j 分别代表两相邻区域向量; $\overline{X_i^T}, \overline{X_j^T}$ 分别代表向量 X_i, X_j 的共轭向量; $\|X_i\|_2$ 代表向量的范数。

灰度相似度 sim 取值范围为 $(-1, 1)$ 。对面积较小区域,如果紧性接近1,则它的形状接近圆,而紧性非常好的区域一般认为是独立区域,除非它与某个相邻区域之间灰度相似度非常大才进行合并;如果紧性接近 ∞ ,则说明这个区域非常松散,很有可能从属于它相邻的某个大区域,此时合并对灰度相似的要求相对降低。

2.1.2 纹理对比度

一般来说,我们可以认为纹理由许多相互接近的、相互编制的元素构成,并具有周期性。所谓测量一个目标的纹理,就是找出像素中像素灰度级的特殊排列特性,以表示纹理在目标内的有效变化。在这里,我们在共生矩阵的基础上定义纹理对比度 W_o ,以检测两个相邻区域内的纹理一致性。

设 S 是目标区域 R 中具有特定空间联系的像素对的集合,基于共生矩阵 P ,我们可以计算两个相邻区域的纹理对比度,即

$$W_o = \sum_{g_1} \sum_{g_2} |g_1 - g_2| P(g_1, g_2) \tag{4}$$

式中, $P(g_1, g_2)$ 为共生矩阵 P 中各元素取值,表示相应位置算子的联合灰度分布。

2.2 改进的区域合并方法

传统基于区域邻接图 (Region Adjacency Graph, RAG) 的合并方法采用区域邻接图 (RAG) 来表示图像^[9]。结构中, 图像 G 为无向图, 由两个集合 V 和 E 组成, 即: $G = (V, E)$ 。 V 是有限的非空的顶点集合, 在图像中表示各个区域; E 是两相邻区域顶点偶对的边界集合。

为提高区域合并的速度并改善区域合并效果, 本文采用了一种新的数据结构来描述区域邻接图, 表述为 $G = (R, S, C)$ 。其中, R 类似于传统 RAG 中的 V , 但采用了一种不同的方式, 即利用二维动态数组来描述各区域节点。之所以采用二维动态数组, 是考虑到每个区域节点的邻接区域 (邻居) 的数目是变化的, 并且随着区域合并的进行, 新区域的邻居数目可能会增加, 为每一个区域申请足够空间的做法无疑会增加空间上的开销, 并且也难以保证不会发生溢出。 S 类似于通常的 RAG 中的 E , E 中的每一个元素对应一个相邻接的区域对。不过, 我们并不对 E 排序, 主要是考虑到经过合并之后被合并的区域的相关链接都将成为虚假链接 (死链接), 那些每一次合并新生成的链接加入到 E 中所需的排序环节也将被省去, 并且合并代价很大的链接将不会发生相关的合并。 C 是一个记录合并代价或区域相似度的矩阵, 矩阵的行号和列号分别对应区域的标识号, 矩阵中的每一个元素记录了行号和列号所对应的区域合并代价。基于此方法, 每一次合并总是将合并代价最小的两个相邻区域 (最相似的两个相邻区域) 进行合并, 合并代价以区域相似度来衡量 (见上文), 区域合并的具体流程如图 2 所示。

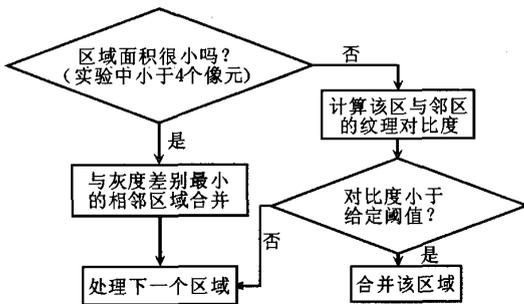


图 2 区域合并流程

3 实验结果及分析

为验证本方法的有效性, 采用南京市 SPOT - 5 卫星影像 (插页彩片 8) 进行实验, 像幅为 198 像素 \times 211 像素。整个算法在 Matlab 软件下编程实现。

从传统分水岭算法分割结果图 (插页彩片 9) 可

以看出, 由于受噪声和平坦区域内部细密纹理的影响, 分割中出现了大量的细小区域, 如河流中的水体被分割成许多大大小小的区域, 即使水质一样的区域也被分割成若干小区域。但对于道路而言, 传统分水岭算法的分割效果相对较好。

基于标记的分水岭算法 (插页彩片 10) 相对于传统分水岭算法分割精度有所提高, 而且有效地抑制了过度分割现象。但道路的分割精度有所下降, 许多细小的道路被分割成周围相邻的其它地物, 其连续性也有所降低。

从经过区域合并后的分割结果 (插页彩片 11) 可以看出, 在图像中能很好地分辨出目标, 并且由于对初始分割结果进行了后处理, 使得一些小的分割区域能很好地合并, 其结果可以用来直接提取感兴趣的目标。

本文采用像素数量误差准则来评价分割方法^[10]。假定待分割图中有一个方形的区域, 它与参考的分割图 (标号图像) 进行叠置后的结果如图 3 所示。

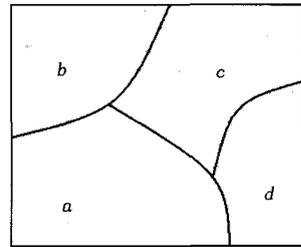


图 3 分割评价原理示意图

假定 S_i 为区域 i 的面积, 则区域 n 被正确分割的面积 S_i' 为 S_n 。其中, $S_n = \max(S_a, S_b, S_c, S_d)$ 。累积待分割图中各区域被正确分割的面积, 并除以分割图的总面积, 便可以得到待分割图像的正确分割百分数 (FCSP), 即

$$FCSP = \frac{\sum_{i=1}^n S_i'}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (5)$$

为考察分割方法对不同类别地物分割的有效性, 可根据 S_n 在参考分类图中的类别进行分类汇总, 以便得到各个类别的正确分割百分数。

本文根据专家目视解译结果, 将测试图像中的地物按照土地使用性质分为 6 类: 建筑物、道路、农田、绿地 (包括公园绿地和林地)、水体和其它。在 ArcGIS 9.0 下对各类地物数字化获得参考分割图, 然后利用像素数量误差准则评价各类地物的分割精度。各类地物的分割精度比较见图 4。

从图 4 可以看出, 较传统分水岭算法, 本方法在对各类地物的分割精度上有了一定提高, 过度分割现象得到了较好地抑制, 各类地物分割的平均精度按从高到低依次为水体 (84.9%)、农田 (83.2%)、

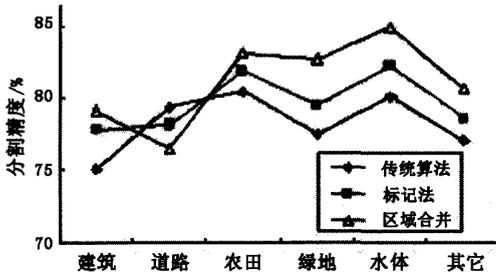


图4 各类地物分割精度的比较

绿地(82.7%)、其它(80.6%)、建筑(79.1%)及道路(76.5%),其中绿地的分割精度提高幅度最大,其根本原因在于本方法整合了遥感影像的光谱特征和纹理特征;但道路的分割精度相对于传统分水岭算法有所降低,这主要是由于道路往往处于两类地物的交叉区域,受其周边地物的影响,在区域合并时容易将其合并到其它地物中。

4 结论

实验结果表明,基于标记的分水岭算法在分割效果和分割精度等方面都优于传统的分水岭算法;初始分割后的区域通过改进的区域合并算法也得到了较好地合并,降低了过度分割。

(1)本方法分割阈值的选择是通过多次试验取平均值所得,由于阈值的选择直接影响到分割结果,如何自适应地选择阈值是下一步研究的方向。另外,在进行等值线区域分割时,分割点的位置未能与原始图像的梯度信息进行融合,这也是需要改进的方面。

(2)本方法中道路的分割精度相对于传统算法有所降低,如何加入有利于提高其精度的因子,是本文算法需要进一步研究的地方。

参考文献

- [1] Vincent L, Soille P. Watersheds in Digital Spaces: An Efficient Algorithm Based on Immersion Simulations [J]. IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1991, 13 (6): 583 - 598.
- [2] Grau V, Mewes Auj, Alcaniz M. Improved Watershed Transform for Medical Image Segmentation Using Prior Information [J]. IEEE Transaction on Medical Imaging, 2004, 23 (4): 447 - 458.
- [3] Chen Shao - yi, Huang Yu - wen, CHEN Liang - gee. Predictive Watershed: A Fast Watershed Algorithm for Video Segmentation [J]. IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13 (5): 453 - 461.
- [4] 刘永学, 李满春, 毛亮. 基于边缘的多光谱遥感图像分割方法 [J]. 遥感学报, 2006, 10 (3): 351 - 352.
- [5] 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]. 中国图象图形学报, 2003, (1): 77 - 79.
- [6] Yang Fa - guo, Jiang Tian - zi. Cell Image Segmentation with Kernel Based Dynamic Clustering and an Ellipsoidal Cell Shape Model [J]. Journal of Biomedical Information, 2001, (34): 67 - 73.
- [7] Ju Cun - yong, Cai Ti - jiu, Feng Zhong - ke. Automatic Segmentation of High - resolution Remote Sensing Image Based on Mathematical Morphology [J]. Engineering Village, 2005, 27: 84 - 87.
- [8] Chaira T, Ray A K. Fuzzy Approach for Color Region Extraction [J]. Pattern Recognition Letters, 2003, 24 (12): 1943 - 1950.
- [9] Bow S T. Pattern Recognition and Image Preprocessing [M]. New York: Academic Press, Inc, 1992.
- [10] 陈秋晓, 陈述彭, 周成虎. 基于局域同质性梯度的遥感图像分割方法及其评价 [J]. 遥感学报, 2006, 10 (3): 360 - 362.

SEGMENTATION OF THE REMOTE SENSING IMAGE BASED ON METHOD OF LABELING WATERSHED ALGORITHM AND REGIONAL MERGING

CHEN Bo^{1,2}, ZHANG You - jing², CHEN Liang^{1,2}

(1. Water Resource and Environment College of Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. State Key Laboratory of Hydrology - Water Resources and Hydraulic Engineering of Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Segmentation of gradient images in the traditional watershed algorithm usually has no markers, which is likely to cause excessive segmentation. This paper presents a watershed algorithm based on the label. First, the gradient images are obtained through the reconstruction of gradient by using Sobel operator and, at the same time, the perimeter, area and morphology factors of the region are computed and labeled. Then, the initial image of segmentation is acquired by using the method of distance function icon for determining the seeds and the technique of isoline tracking. Finally, the last result of segmentation is obtained by using an improved method of regional merging. The experimental result shows the effectiveness of the method.

Key words: Remote sensing image; Label; Watershed algorithm; Segmentation; Region merging

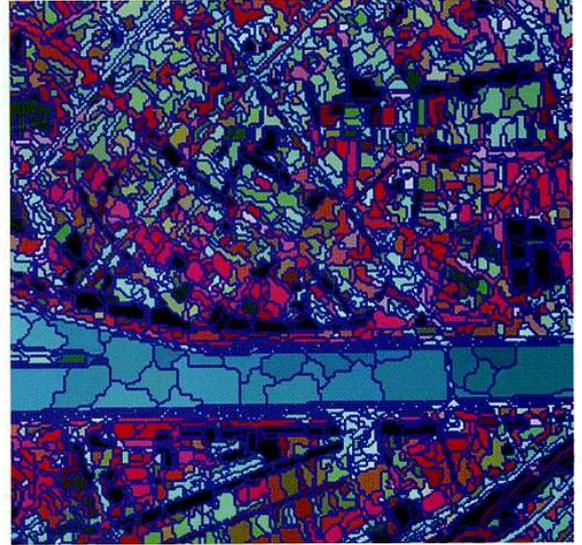
第一作者简介: 陈波(1982 -), 男, 河海大学硕士研究生, 从事地理信息系统与遥感研究。



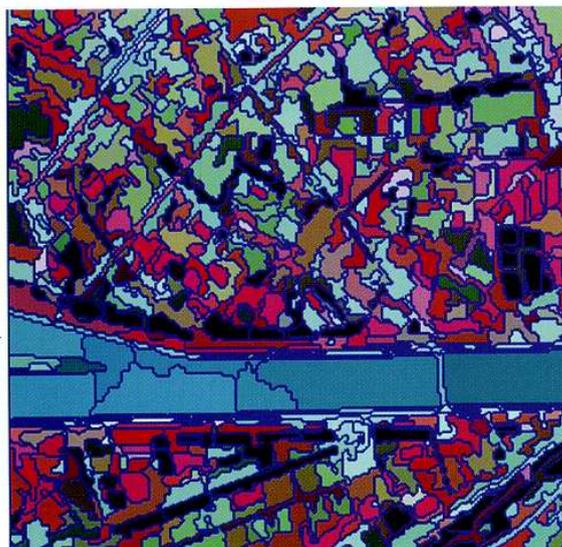
彩片7 大气校正前后对比(左: 校正前; 右: 校正后)



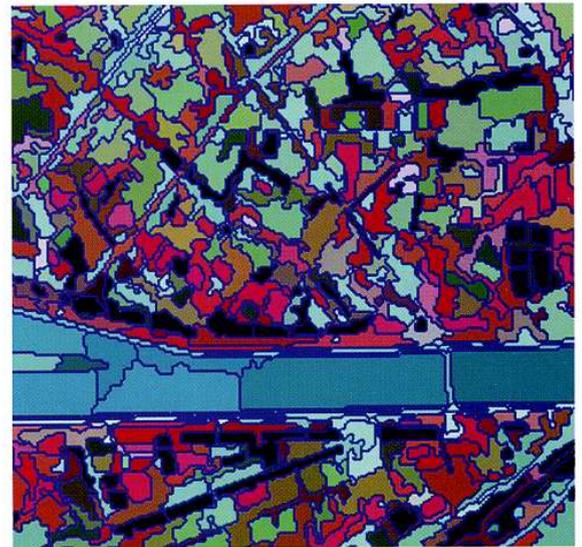
彩片8 SPOT (3, 2, 1波段)假彩色合成图像



彩片9 传统分水岭算法分割结果



彩片10 基于标记的分水岭算法分割结果
万方数据



彩片11 区域合并后的分割结果