

基于分水岭变换的多尺度遥感图像分割算法

陈 忠, 赵忠明

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

摘 要: 分水岭变换是一种适用于图像分割的强有力的形态工具, 能够自动生成一系列封闭分割区域。分水岭变换的不足之处在于它的过分割结果。为了克服分水岭变换固有的过度分割现象, 利用非线性滤波和改进的快速区域合并算法优化分水岭变换得出的初始分割结果, 并针对高分辨遥感图像所体现出来的地物的多种信息特征, 结合多种特征进行了区域合并。实验结果与 MeanShift 算法得到的结果进行了比较, 证明该算法不仅能充分利用高分辨率遥感图像中地物的信息特征获得良好的分割效果, 而且大大减少了计算时间。

关键词: 多尺度; 分割; 多特征; 分水岭; 滤波

Multi-scale Image Segmentation of Remote Sensing Image Based on Watershed Transformation

CHEN Zhong, ZHAO Zhongmin

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

【Abstract】 Watershed transformation is a powerful morphological tool for image segmentation, which can automatically generate a series of closed segmentation regions. However, the watershed transformation might give rise to over-segmentation. In order to overcome the inherent drawback of watershed algorithm-over-segmentation, a kind of non-linear filter algorithm and a modified fast region merging algorithm are proposed to improve initial segmentation result obtained by the watershed transformation. According to the all kinds of characteristic explored from the high resolution remote sensing image, the modified fast region merging is implemented combined with multi-characteristic. Experimental results show the proposed algorithm not only can obtain the good segmentation result by making good use of the characteristics explored from the high resolution image, but also the processing time are drastically reduced.

【Key words】 Multi-scale; Segmentation; Multi-characteristic; Watershed; Filtering

1 概述

图像分割是一个重要的图像分析技术。图像分割的目的在于把原图像分割成一些在空间上相邻、光谱相似的同质区域。高分辨率遥感图像提供了地物更多的信息, 例如光谱、形状、纹理等。结合越多的特征进行区域分割将会得到越符合人眼视觉效果的分割结果。

最初的基于数学形态学的分水岭变换计算负担重, 耗时间多。同时由于梯度噪声、量化误差及物体内部细密纹理的影响, 经分水岭变换后容易导致过分割。Vincent等^[1]提出的沉浸模拟的分水岭分割算法大大提高了计算速度, 也容易扩展到更高维的图像中。但是这种方法的结果图像中会生成单像素宽的封闭轮廓, 称为分水线。这些分水线会对图像处理和分析造成一定的困难。Patrick De Smet等提出了一种模拟降水的分水岭分割算法^[2], 该算法速度更快且没有分水线。

Haris等^[3]提出的区域合并是缓解过分割的有力工具, 但分水岭变换后, 区域数目很多, 合并过程运算量极大。为此, 通过采用对输入图像取阈值的方法来减少分水岭变换后区域的个数。然而, 由于阈值的选取只考虑图像灰度的幅度值, 不合适的阈值很可能会破坏重要物体的轮廓, 因此选取适当的阈值也是一项非常困难的任务。

传统消除分水岭变换过分割统的方法是通过指定标记(或称种子)来获得区域数^[4]。这种方法需要用户事先具有足够的关于图像中目标物的先验知识。另一种消除过分割的手段

是多分辨率分析方法^[5]。这种算法容易产生轮廓的移位。本文先利用一种非线性滤波算法对原始图像进行去噪和平滑, 然后结合高分辨率遥感图像表现出来的多种特征, 利用改进的多尺度区域合并算法, 快速、有效地实现高分辨率遥感图像的分割。

2 非线性滤波

利用传统的滤波算法, 如高斯滤波和中值滤波, 不仅会把图像中不是噪声的点滤除而且还会模糊图像的边界和细节。为了克服这些缺点, 一种称为Peer Group Filtering(PGF)的非线性同类组滤波算法用来去除噪声和图像平滑^[6]。对于图像中位于 $w \times w$ 小窗口中心的点 $x(n)$, 计算中心点像素与其它 w^2-1 个像素的欧氏距离 d_i , 并按升序排列。具体的PGF滤波和平滑步骤如下:

(1)同类组个数 $m(n)$ 的确定。这步用来确定小窗口中邻域像素参与计算新中心像素值的个数, 通过 Fisher 判别找出该像素的同组成员, 使得 $m(n)$ 满足关系:

$$d_{m(n)-1} \leq T(n) < d_{m(n)} \quad (1)$$

(2)中心像素 $x(n)$ 类别区分。为了消除滤波窗口中噪声的

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2003AA135010)

作者简介: 陈 忠(1974-), 男, 博士生, 主研方向: 高分辨遥感图像分类与识别; 赵忠明, 博导、研究员

收稿日期: 2005-12-06 **E-mail:** henpacked@163.com

影响，可通过计算 d_i 的一阶差分 $f_i(n)$ 来判断脉冲噪声，即若

$$f_i(n) = d_{i+1}(n) - d_i(n) > \alpha \quad (2)$$

则认为对应的像素为脉冲噪声(α 为调节参数)。

(3)新的像素值通过其滤波窗口中同类组成员的高斯平均来获得：

$$x_{new}(n) = \frac{\sum_{i=0}^{m(n)-1} g_i p_i(n)}{\sum_{i=0}^{m(n)-1} g_i} \quad (3)$$

3 分水岭变换描述

本文采用降水分水岭变换^[2,3]。降水分水岭变换的实质是寻找从图像的每个像素到图像表面高程局部较小的下游路径。而集水盆地则定义为满足以下条件的所有像素的集合：这些像素的下游路径终止于同一个高程极小点。降水分水岭变换的过程如下：

(1)为每一个像元寻找下游像元，并记录在数组中。对于每一个像元，寻找与其相比灰度最小的邻域像元。

(2)标识局部最小。对于数组中的每一个元素，判断其是否为局部最小，若是则赋予一个新的标号，将该标号同样赋予与其连通并均为局部最小的区域。

(3)标识非局部最小的像元。对于每一个非局部最小的像元P，总是存在一个下游像元。如果该下游像元已经被标识，则将此标号赋给P。否则寻找下游像元的下游像元，直到找到已经被标识的下游像元，并将该标号赋给P。

经过降水分水岭变换图像被分割成标号从0开始的一系列标号区域。有关分水岭算法的严格数学描述参见文献[7]和文献[9]。

4 改进的快速多尺度合并算法

分水岭变换的最大不足在于过分分割，也就是产生过多的小区域而使感兴趣的区域难以分辨。在本节中结合颜色和形状等特征利用多尺度快速合并算法对高分辨率遥感影像进行分割处理。本文综合利用颜色和形状作为区域合并的判决准则，利用区域面积作为图像分割的尺度，从而分割出感兴趣区域。实验证明本算法具有很好的鲁棒性。

4.1 区域合并差异性度量准则

传统的区域合并仅建立在颜色相似性准则的基础上^[4,9,10]。对于高分辨率遥感影像来说，由于分辨率的提高，能从图像中得出更多的地物信息，但也同样增加了图像的噪声和地物之间的相互影响。在这种情况下，如果仅仅利用颜色相似性这一准则会出现一些欠合并或者过合并的现象。虽然合并差异相似性度量量的准则越多，分割的效果也相应越好，但是这样也会增加算法的复杂度^[11]。因此本文结合文献[11]，仅利用颜色和形状综合作为合并差异性度量准则。

(1)颜色差异性度量准则

如果两个相邻区域的方差和面积为： $\sigma_{1,i}$ ， $\sigma_{2,i}$ ， n_1 ， n_2 ，合并后区域的方差和面积为： $\sigma_{merg,i}$ 和 n_{merg} ，下标 i 表示波段的序号，那么这个颜色差异性度量准则可表示为

$$h_{color} = \sum_i w_i (n_m \times \sigma_{merg,i} - (n_1 \times \sigma_{1,i} + n_2 \times \sigma_{2,i})) \quad (4)$$

式中 w_i 表示要参与分割合并波段的权值。

(2)形状差异性度量准则

本文引入了2个表征形状特征的参量：光滑度和紧致度。光滑度是为了表征合并后区域边界的光滑程度，而紧致度是为了保证合并后区域更加紧凑。这2个参量的公式表达分别为

$$h = \frac{l}{b}, h = \frac{l}{\sqrt{n}}$$

其中， l 为区域的周长， b 为区域最小外包矩形的周长， n 为区域的面积。如果两个相邻区域的形状参数分别为： l_1 、 b_1 、 l_2 、 b_2 ，合并后区域的形状参数为 l_{merg} 、 b_{merg} ，那么这两个形状的差异性度量准则就可以表示如下：

$$h_{smooth} = n_{merg} \times \frac{l_{merg}}{b_{merg}} - (n_1 \times \frac{l_1}{b_1} + n_2 \times \frac{l_2}{b_2}) \quad (5)$$

$$h_{compactness} = n_{merg} \div \sqrt{n_{merg}} - (n_1 \times \frac{l_1}{\sqrt{n_1}} + n_2 \times \frac{l_2}{\sqrt{n_2}}) \quad (6)$$

(3)颜色和形状差异性度量准则的综合

利用线形组合的方法来综合颜色和形状准则：

$$f = w * h_{color} + (1 - w)h_{shape} \quad (7)$$

其中 h_{color} 和 h_{shape} 分别表示颜色和形状的差异性度量准则， w 表示颜色差异性度量准则在综合准则中所占的权值。而形状差异性度量准则可用上述光滑度和紧致度两个参量来得到：

$$h_{shape} = w_{compactness} \times h_{compactness} + (1 - w_{compactness}) \times h_{smooth} \quad (8)$$

式中 $w_{compactness}$ 表示光滑度在计算形状差异性度量准则中所占的权值。

4.2 改进的快速多尺度区域合并算法

本文采用多尺度区域合并，在合并过程中并不是所有的区域都参与合并^[7,8]，而是满足一定面积条件的区域参与合并，大大提高了合并的效率。对于分水岭变换得到的K个区域的图像可以采用区域邻接图RAG(Region Adjacent Graph)的数据结构来表示。RAG为无向图 $G = (V, E)$ ，其中， $V = \{1, 2, \dots, K\}$ 表示结点，即各个区域， $E \subset V \times V$ 表示边界像素的集合。本文采用的合并算法是对当前区域与其相邻区域中的最小代价对进行合并，也就是满足上文提到的最小差异性度量准则。利用动态链表来实现RAG，算法的步骤如下：

Step1 输入 RAG；

Step2 寻找面积等于当前要处理区域面积的所有区域；

Step3 对于当前要处理的每个区域，按 RAG 计算与周围邻域的相异性度量准则，并与取得最小相异性度量值的邻域进行合并；

Step4 调整 RAG；

Step5 当前要处理区域面积值+1；返回 Step2，直到当前区域面积值大于设定的区域面积域值；

Step6 输出轮廓图像。

5 实验结果和结论

利用 IKONOS 4m 分辨率的全色高分辨率遥感图像，结合本文提出的算法得出实验结果如图1~图6所示，并给出了利用国外软件通过 MeanShift 算法得出的分割结果，其中图3为合并域值20，颜色权值0.9，光滑度0.9的分割结果；图4为合并域值200，颜色权值0.9，光滑度0.9的分割结果；图5为合并域值200，颜色权值0.2，光滑度0.5的分割结果。



图1 原始图像 图2 滤波和分水岭变换后结果 图3 分割结果(1)

(下转第207页)