

基于形态 Snake 模型的遥感影像的单木树冠检测算法

董天阳 周棋正

(浙江工业大学计算机科学与技术学院 杭州 310023)

摘要 单木树冠检测可以辅助林业统计获取诸如树冠位置、冠幅、胸径等信息,对发展精准林业具有重大意义。针对单木树冠检测中树冠轮廓描绘不精确的问题,文中提出了一种基于形态 Snake 模型的遥感影像的单木树冠检测算法。该算法首先对林区特征进行了分析,然后使用局部极值法对林区特征图和距离变换图提取树冠顶点,最后根据树冠顶点为所有树冠初始化形态 Snake 模型轮廓,并迭代进行轮廓演变,得到最终的树冠轮廓。为了验证方法的有效性,对比分析了区域生长法、模板匹配法、分水岭法和所提出的形态 Snake 模型法。实验结果表明,所提方法的检测结果更准确,树冠轮廓更接近实际形状,与其他已有方法相比,整体检测得分提高了 6%,面积平均差降低了 0.5 m²。

关键词 Snake 模型,单木树冠检测,形态学,遥感

中图分类号 TP391 **文献标识码** A

Single Tree Detection in Remote Sensing Images Based on Morphological Snake Model

DONG Tian-yang ZHOU Qi-zheng

(School of Computer Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract Single tree detection can assist forestry statistics in getting information such as position, width and diameter of the crowns, so it is of great significance for the development of precision forestry. In order to solve the problem of inaccurate canopy delineation in single-tree canopy detection, this paper proposed a single tree detection algorithm based on morphological Snake model for remote sensing images. Firstly, the forest features are analyzed. Then the local maximum method is used to extract treetops according to the forest feature map and the distance map. After this, the contour of Snake model is initialized for all crowns according to treetops, after evolution of the contour, the final detection result of individual trees is obtained. In order to verify the effectiveness of the method, this paper gave comparative analysis of the region growing method, template matching method, watershed method and the proposed morphological snake model method. The experimental results show that the proposed method is more accurate and the shape of the crown is more realistic. Compared with the other three methods, the detection score is 6% higher and the area average difference is reduced by 0.5 m².

Keywords Snake model, Single tree detection, Morphology, Remote sensing

1 引言

森林在世界生态系统、环境、经济等方面发挥着重要的社会作用,获取精准的森林树木信息对生态系统保护以及林业经济发展有着重大意义^[1]。常规林业资源调查需要专业人士野外实地勘察,耗费大量人力物力,效率低且信息更新滞后。20 世纪中期,遥感技术迅速发展,具有覆盖范围大、重访周期短、应用成本低等优点,使得我们能及时、准确地掌握森林类型、结构、分布、面积及动态变化等情况,从而提高了森林信息获取的效率。但通过专业人员目译获取森林信息依旧工作量巨大。近年来,随着计算机视觉技术以及遥感卫星拍摄技术的不断发展,应用被动遥感影像和主动激光雷达数据自动化或半自动化地提取树木信息成为精准林业的研究热点^[2]。单木树冠检测是精准林业中非常重要的部分,最早的例子可以追溯到 20 世纪 80 年代 Pinz^[3] 提出的视觉专家系统,该系统通过在 10cm 像素分辨率的图像中搜索局部亮度最大值来定

位树冠中心并估计树冠半径。

根据使用的数据类型将单木树冠检测分为 3 种模型: 1) 高分辨率遥感影像。Erikson 等^[4] 利用树木在遥感影像数据中的同质性,提出了一种基于区域生长的单木树冠检测方法。该方法的优点是对边界敏感、树木轮廓信息的提取效果较好。但是,该方法的参数依赖性强,需要设定很多参数。Wang 等^[5] 使用分水岭法描绘树冠轮廓,并以树冠中心点作为标记控制,防止分水岭算法的过度分割问题。Tarp-Johansen 等^[6] 提出了一种能够产生人工模版的影像分析算法。该影像分析算法可以用于生成三维立木图,在丹麦橡树林中的树冠检测精度很高。2) 激光探测和测距数据(LIDAR)。Zhao 等^[7] 提出了一种基于区域分层横截面的分析方法(RH-CSA),该方法以 CHM 为三维拓扑表面,利用树冠的垂直结构对树冠进行检测并对树冠边界进行描绘,对不同类型的树林都有一定的效果。3) 高分辨率遥感影像与 LIDAR 数据相结合。Zaremba 等^[8] 提出了融合 LIDAR 数据和高分辨率卫

本文受国家自然科学基金项目(61672464,61572437)资助。

董天阳(1977—),男,博士,副教授,主要研究方向为计算机图形学、虚拟现实, E-mail: dty@zjut.edu.cn; 周棋正(1993—),男,硕士生,主要研究方向为虚拟现实、图像处理等。

星遥感图像的单棵树木检测方法。该方法在高分辨率遥感图像中根据树木在光谱图像上的差异提取树林区域,再提取树冠之间的低光谱特征检测单棵树。

Snake模型最初由Kass等^[9]于1987年提出,又称主动轮廓模型(Active Contour Model)。由于Snake模型对噪声和对对比度不敏感,能将目标从复杂背景中分割出来,因此被应用于图像处理的众多领域中,且发展出了相应的改进模型。Cohen等^[10]针对Snake模型对初始位置敏感的不足,在外部势能中增加了一个气球力,避免轮廓线收敛到图像中的伪边缘点,该模型在一些医学图像处理中得到了应用。Xu等^[11]提出的梯度矢量流GVF(Gradient Vector Flow)模型是Snake模型发展中的重大进步,该模型解决了Snake模型无法进入凹陷区域的问题。汪梅等^[12]使用分水岭算法初始化轮廓,并通过迭代计算对周围局部邻近点进行检索,从而使得Snake模型能更好地收敛到图像的最优解。

相比于LIDAR数据,高分辨率遥感影像更易获取且适用范围更广泛,但目前的高分辨率遥感影像单木树冠检测方法存在着树冠描绘不准确的问题。因此,本文结合了形态学操作的简便和Snake模型对目标边界敏感的特点,提出了一种新的单木树冠检测方法。该方法同时对每一个树冠顶点进行树冠轮廓演变,树木粘连区域会在多个树冠外力相互拉扯下分别分配到相应的树冠,因此对粘连树冠轮廓的描绘更加准确。树冠轮廓演变过程都是自发进行的,因此该方法对参数的依赖较低。

2 研究方法

基于形态Snake模型的高分辨率遥感影像单木树冠检测算法的具体实现步骤如下:首先分析了林区相关特征,利用林区特征排除其他地物的干扰。然后结合树冠近圆形的形态学特征和树木的光谱特征,使用距离变化和局部极值法筛选出树冠中心点(即种子点),如果两个种子点之间的欧氏距离小于一个阈值,则认为它们是同一颗树种的像素点,也就是说其中有一个是伪种子点,通过非极大值抑制删除伪种子点从而得到最终的种子点。接着描绘了每一棵树冠的轮廓,树冠描绘方法使用了形态Snake模型来演变每一个种子点的轮廓形状,当轮廓贴近真实树冠轮廓时,轮廓演变将自动停止,从而得到该树冠轮廓。最后将我们的实验结果和通过目译对实验区域手动标定的结果做对比来评价算法的精度。

2.1 林区特征分析

在图像分割和分类中,一个适当的特征可以分离不同物体或提高不同类别物体之间的差别。一幅遥感影像中包含的信息量巨大,其中的地物种类很多,如土壤、房屋、街道、岩石、树木等。本研究只对树木感兴趣,一个好的林区特征需要尽可能地将林区凸显出来,以最大程度地区分树木和其他地物。林区特征根据影像和任务的不同,使用的特征指数也不同,其中最常用的特征指数是归一化差分植被指数(NDVI):

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}, NDVI \in [-1, 1] \quad (1)$$

其中,NIR和R分别为近红外波段和红光波段处的反射率值。由于本文方法既可以用于高分辨率多光谱卫星影像,又可以用于普通卫星正射影像,为了增加林区特征的适用范围,本研

究分析了影像中红色波段和绿色波段的树木的颜色特征,发现绿色植被指数(GVI)更符合研究需求。

$$GVI = \frac{Green - Red}{Green + Red}, GVI \in [-1, 1] \quad (2)$$

其中Green和Red分别为红色波段和绿色波段的反射率值。实验区域3的GVI特征如图1所示。

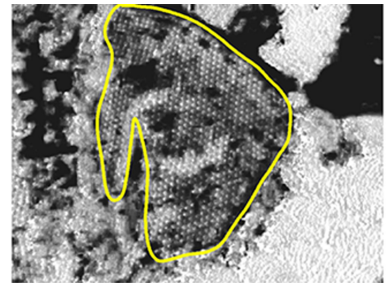


图1 林区 GVI 特征

2.2 树冠位置检测

卫星遥感影像会受到传感器、拍摄时间、拍摄天气、太阳角以及拍摄角度等的影响,图像质量难免会受到噪声干扰,影响树冠位置的提取精度。因此,在检测树冠位置前,需要对图像进行平滑去噪预处理。本文采用不同核函数大小的高斯滤波器进行了平滑去噪的实验,结果表明 5×5 大小的高斯滤波器的效果较好,可以有效地去除图像中的大部分噪声,且不会损失过多图像信息。

树冠位置检测通常利用树木的光谱特点,即树冠顶点在树冠中一般具有最高或较高的光谱反射率。局部最大值法在处理这类问题时简单有效,该方法的思路是使用一个局部最大值滤波器,通过一个滑动窗口探测影像中局部光谱最大值作为树冠中心候选点,然后根据树木之间最小距离等限定剔除其中距离小于这个值的伪树冠顶点,筛选出符合条件的树冠顶点。但是,直接对遥感图像使用局部最大值法探测树冠位置对阔叶林的提取效果不够理想,泛化能力比较差,且需要设定较多的参数。本文首先通过大津法(OTSU)对图像中的AOI区域二值化,树木OTSU图如图2所示,为了增加对比度,将树木用黑色表示。



图2 树木 OTSU 图

对二值图像做距离变化可以得到距离图,距离图可以反映树木的形态学特性,树冠顶点在图中的距离值最大。使用一个 3×3 的滑动窗口扫描距离图中的局部最大值,若两个局部最大值点之间的距离小于树木最小间隔距离 d_{\min} ,则保留两点中GVI特征值较大的点,最后保留下来的点为树冠顶点,其结果如图3所示。

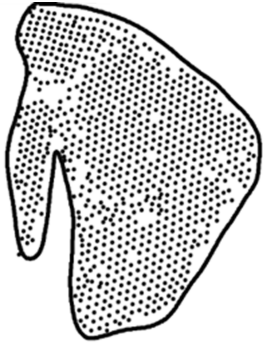


图 3 树冠顶点图

2.3 树冠轮廓提取

在得到树冠顶点之后,首先为每个树冠顶点初始化一个圆形水平集 u_i , 并为其设定一个标签 $Label_i$, 再同时对所有初始树冠轮廓进行形态 Snake 模型轮廓^[13]演变。

Snake 模型定义了一个与轮廓有关的能量函数,轮廓的形状变化和行为变化趋向于使该能量函数值变小,当能量函数取最小值时,Snake 轮廓就会收敛在图像中的目标上。Snake 模型演变公式如下:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = g(I) \cdot |\nabla u| \cdot \text{div}\left(\frac{u}{|\nabla u|}\right) + g(I) \cdot |\nabla u| \cdot \text{div}\left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|}\right) + \nabla g(I) \cdot \nabla u \quad (3)$$

其中,等式右边第一项为外力约束;第二项和第三项为图像内力约束; $\text{div}\left(\frac{\nabla u}{|\nabla u|}\right)$ 为树冠轮廓曲线 S_{tree} 的欧氏曲率; $g(I)$ 为边缘吸引函数,其局部最小值将 S_{tree} 吸引到树冠边缘。边缘吸引函数的公式如下:

$$g(I) = \frac{1}{\sqrt{1 + \alpha |\nabla C_\sigma \cdot I|}} \quad (4)$$

形态 Snake 模型使用形态学操作简化式(3),它将水平集 u_i 简化为 $u: R^2 \rightarrow [0, 1]$, $u(x) = 1$ 表示 x 在曲线内, $u(x) = 0$ 表示 x 在曲线外。形态算子作用在树冠轮廓的水平集 u_i 上,隐式地进行曲线演变。形态 Snake 模型的树冠轮廓演变通过 3 个离散过程计算式(3)中的偏微分方程。这 3 个过程分别为气球力膨胀、树冠边缘吸引和形态连续线平滑。

1) 气球力膨胀

该过程对初始树冠轮廓水平集进行膨胀或保持不变,使得树冠能够越过伪边界。其中, $g(I)$ 控制了气球力的大小,当 $g(I)$ 的值大于阈值 γ 时,表明当前位置离树冠边缘较远,我们对水平集中的该点进行膨胀。反之,图像接近图像边缘,保持该点不变即可。该过程可以用如下公式表示:

$$u^{n+\frac{1}{3}}(x_i) = \begin{cases} D_d u^n(x_i), & \text{if } g(I)(x_i) > \gamma \\ u^n(x_i), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

其中, D_d 为形态学膨胀的离散表示形式。

2) 树冠边缘吸引

该过程保证演变后的轮廓将向着树冠边缘移动,当气球力膨胀后,计算当前水平集的高斯导数 $\nabla u^{n+\frac{1}{3}}$, 如果当前位置的 $\nabla u^{n+\frac{1}{3}}$ 和边缘吸引函数 $g(I)$ 的高斯导数 $\nabla g(I)$ 同号,则将当前位置加入水平集 u ; 如果异号,则将其从水平集中取出;如果 $\nabla g(I)$ 或 $\nabla u^{n+\frac{1}{3}}$ 为 0, 则保持上一步的结果。该过程可以用如下公式表示:

$$u^{n+\frac{2}{3}}(x_i) = \begin{cases} 1, & \text{if } \nabla g(I)(x_i) \nabla u^{n+\frac{1}{3}} > 0 \\ 0, & \text{if } \nabla g(I)(x_i) \nabla u^{n+\frac{1}{3}} < 0 \\ u^{n+\frac{1}{3}}(x_i), & \text{if } \nabla g(I)(x_i) \nabla u^{n+\frac{1}{3}} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

3) 形态连续线平滑

该过程是为了平滑上述两个过程产生的尖锐角,可以消除水平集中长度小于 2 的线段。其中同一方向上 N 个连续的像素点构成长度为 $N-1$ 的线段。令核函数 β 分别为横、竖、斜方向上像素点为 1, 其余像素点为 0 的 4 个 3×3 矩阵,我们将形态连续线的运算定义为:

$$(SI_d u)(x) = \sup_{b \in \beta} \inf_{y \in x+Ab} u(y) \quad (7)$$

$$(IS_d u)(x) = \inf_{b \in \beta} \sup_{y \in x+Ab} u(y) \quad (8)$$

水平集平滑的 SI_d 过程和 IS_d 过程的例子如图 4 所示,其中白色为前景部分(灰度值为 1),黑色为背景部分(灰度值为 0)。 SI_d 过程和 IS_d 过程相同的部分都是检查有无相连的 3 个点(图中用粗线表示),不同的是 SI_d 过程检测是否有 3 个相连的 1, 当不存在时将该像素点灰度值置位 0, SI_d 过程检测是否有 3 个相连的 0, 当不存在时将该像素点灰度值置位 1。

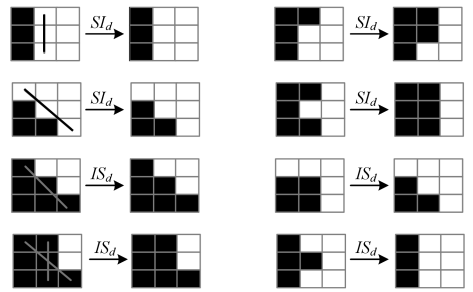


图 4 SI_d 和 IS_d 算子

形态连续线平滑过程如式(9)所示:

$$u^{n+1}(x_i) = \begin{cases} (SI_d \circ IS_d u^{n+\frac{2}{3}})(x_i), & \text{if } g(I)(x_i) > \gamma \\ u^{n+\frac{2}{3}}(x_i), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

以上 3 个过程构成了形态 Snake 模型的一次轮廓演变。轮廓演变过程很稳定,如果两棵树互相遮盖,则两棵树木之间的像素点会受到来自不同边缘牵引力的相互作用,最终停留在两者之间,达到一个平衡状态。如图 5 所示,树冠轮廓演变过程迭代 20 到 30 次就会收敛到树冠边界,从而得到该树的轮廓。

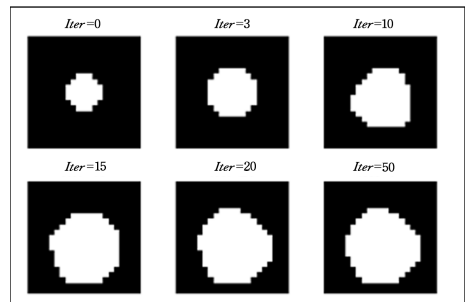


图 5 树冠轮廓演变过程

最后,根据描绘后的树冠轮廓结果的形心位置对树木位置识别进行校正,并计算出每个树冠的面积。树冠位置纵横坐标 (\bar{x}, \bar{y}) 以及面积 $Area$ 的计算公式如下:

$$\bar{x} = \frac{\int_{u=1}^n x du}{u}, \bar{y} = \frac{\int_{u=1}^n y du}{u}, Area = \frac{\int_{u=1}^n du}{u} \quad (10)$$

3 实验数据

本文实验所用数据来自 Google Earth 卫星影像,数据分辨率率为 0.33m,包含红绿蓝 3 个波段数据。我们选择了 3 块样地作为实验区域进行算法测试,由于无法获取到实验区域中每一棵树的真实地面调查结果,我们通过目译并用红色的圆标定了实验区域中每一棵树的树冠作为参照数据。图 6 为 3 块实验区域的卫星图像缩略图和人工标定图,图中白线围绕的部分为感兴趣区域(AOI)。实验区域 1 位于浙江杭州,坐标为 120°00'21.5"E,30°13'43.8"N,在 AOI 中有 341 棵标定树;实验区域 2 位于浙江绍兴,坐标为 120°20'27.8"E,30°06'43.7"N,有 338 棵标定树;为了进一步测试本文方法的泛化能力,我们还选取了位于泰国的实验区域 3,其坐标为 98°30'98"E,8°25'48.3"N,有 801 棵标定树。

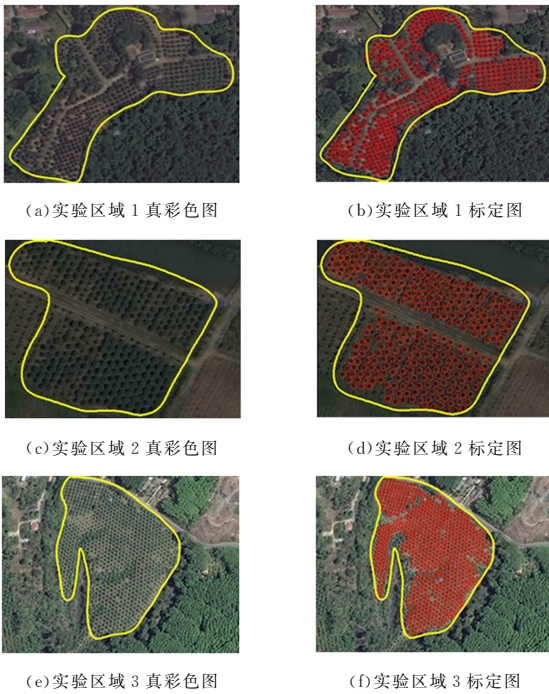


图 6 实验区域真彩色图和人工标定结果

4 实验结果与分析

4.1 评价方法

为了检验本文方法的有效性,需要将检测结果和标定数据进行比较。当检测树和标定树之间的空间位置和树冠面积差异在一定范围内时,认为两者匹配,即该检测树正确。具体的匹配流程有两个步骤:1)选择最邻近标定树。对于检测结果中的单棵树冠,为其在标定数据集中找到空间距离 ΔD_{2D} 和面积差 ΔA_{2A} 满足一定范围且最近的标定树作为该检测树的最邻近标定树。2)选择最邻近检测树。匹配的问题不是简单的单向问题,一棵检测树需要从标定数据中寻找最邻近的一棵标定树,同样的一棵标定树也需要从检测结果中寻找最邻近检测树。当检测树 $Test_a$ 的最邻近标定树是 Ref_b ,且 Ref_b 的最邻近检测树是 $Test_a$ 时,认为检测树 $Test_a$ 与标定树 Ref_b 为一对匹配结果。

本文从以下指标整体考量算法的准确性,其中面积平均差 A_{mean} 和检测得分 M 最直观地反映了算法的优劣。具体参数说明和计算方法如表 1 所列。

表 1 评价指标公式

评价指标	公式
检测率	$R_{extr} = \frac{N_{test}}{N_{ref}}$
匹配率	$R_{mat} = \frac{N_{match}}{N_{ref}}$
误识率	$R_{com} = \frac{N_{test} - N_{match}}{N_{test}}$
漏识率	$R_{om} = \frac{N_{ref} - N_{match}}{N_{ref}}$
面积平均差	$A_{mean} = \frac{1}{N_{match}} \times \sum_{i=1}^{N_{match}} A_{test_i} - A_{ref_i} $
检测得分	$M = 100 \times \frac{R_{mat}}{R_{mat} + R_{com} + R_{om}}$

表 1 中, N_{test} 为检测结果中单棵树木数量; N_{ref} 为标定结果中单棵树木数量; N_{match} 为检测树和标定树匹配的数量; A_{test_i} 和 A_{ref_i} 分别为第 i 个匹配结果中检测树和标定树的面积。

4.2 各区域检测结果对比

本文在 3 个实验区域中,对提出的形态 Snake 模型方法和 3 种主流的单棵树木检测算法(区域生长法(RG)^[14]、模板匹配法(TM)^[15]和标记控制分水岭(Watershed)^[16])进行了对比。具体的检测结果如表 2—表 4 所列。

表 2 列出了实验区域 1 的算法对比。实验区域 1 中树冠大小相差较大,且树冠粘连较多,整体误识率、漏识率较高。区域生长法的误识率高,模板匹配法的匹配率较低、漏识率较高,标记控制分水岭仍然存在一定的过分割,导致其误识率高达 45%,且平均面积差较大。模版匹配方法则在相似度阈值取 0.67 时检测结果最为理想。形态 Snake 算法在该区域的匹配率最高、漏识率最低,检测得分比其他 3 种方法高出 10%,并且平均面积差不到 1m²。

表 2 实验区域 1 算法对比

方法	$R_{extr}/\%$	$R_{mat}/\%$	$R_{com}/\%$	$R_{om}/\%$	A_{mean}/m^2	M
RG	128	79	39	21	1.01	56
TM	81	65	19	35	1.13	54
Watershed	152	83	45	17	1.45	57
形态 Snake	140	86	38	14	0.87	62

实验区域 2 中,树木周围有草地,树木边界较弱,并且树林中有很多小树,增加了一定的难度。从表 3 中可以看出,形态 Snake 模型在实验区域 2 中的匹配率、误识率和漏识率都较优,获得了最高 76 的检测得分,并且在地物相似性较高的情况下,其平均面积差也只有 0.93m²。区域生长法的整体情况也不错,但是漏识别了很多较小的树木,只取得了 73 的检测得分。模版匹配方法在相似度阈值 T 取 0.72 时取得了较好的检测结果,但其面积均差值是 3 种方法中最高的。由于地物相似性较高,标记控制分水岭法仍然存在过分割的问题,因此面积差是 4 种方法中最高的。

表 3 实验区域 2 算法对比

方法	$R_{extr}/\%$	$R_{mat}/\%$	$R_{com}/\%$	$R_{om}/\%$	A_{mean}/m^2	M
RG	95	82	13	17	1.08	73
TM	89	79	11	21	1.31	71
Watershed	138	95	31	5	1.42	72
形态 Snake	104	87	16	13	0.93	76

实验区域 3 中的树木比较规整,整体检测结果都较好。从表 4 中可以看出,区域生长法和形态 Snake 法的提取率都不足 100%,因为其中存在许多极小的树木。模板和被检测区域之间的相似度取值越接近 1 越相似,因此相似度阈值能取值 0.86 说明模板匹配法对于树木规整的树林的检测效果较好,但其平均面积差比形态 Snake 算法大了 0.54m^2 。形态 Snake 模型算法的面积差最小,平均面积差只有 0.63m^2 ,树冠轮廓非常接近目译结果,检测得分也最高。

表 4 实验区域 3 算法对比

方法	$R_{extr}/\%$	$R_{mat}/\%$	$R_{com}/\%$	$R_{om}/\%$	A_{mean}/m^2	M
RG	94	85	10	15	0.93	77
TM	99	88	11	12	1.17	79
Watershed	126	94	6	25	1.03	74
形态 Snake	95	87	8	13	0.63	80

图 7 给出了本文提出的基于形态 Snake 法的单木树冠检测方法在 3 个实验区域中的测试结果。

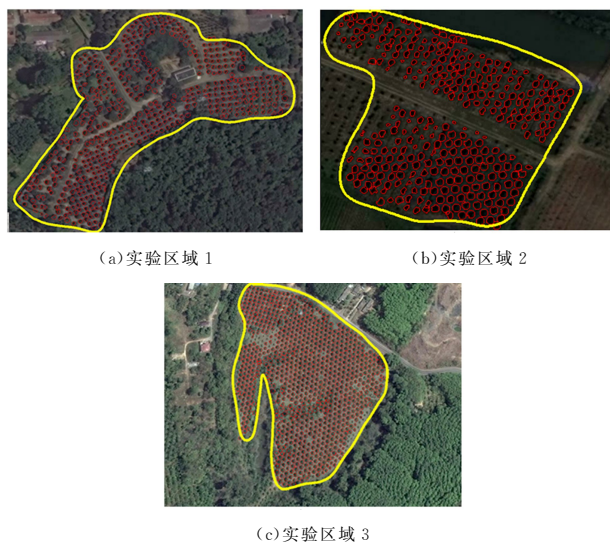


图 7 单木树冠检测结果

图 8 给出了实验区域 3 中形态 Snake 算法的局部实验结果,可以看到检测结果的匹配程度很高,且轮廓形状贴近人工标定结果。可以看到,仅仅有几棵接近周围环境的单棵树冠未被识别出来。

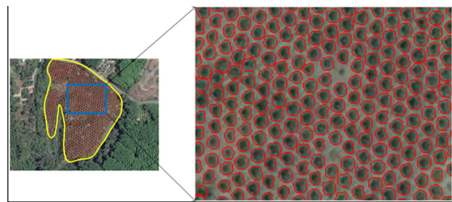


图 8 局部实验结果

4.3 整体检测结果

区域生长法(RG)的树冠顶点提取过程只依赖图像亮度的局部最大值,而小树的亮度较低,难以被提取出来。模板匹配法(TM)是用树木的模板依次与图像中相同大小的区域进行对比,计算所有像素的平方误差和,但是检测不到树木粘连的区域,相较其他方法漏识率较高。标记控制的分水岭算法(Watershed)虽然极大程度地改善了分水岭法的过分割问题,匹配率有所增加,但是过分割的问题依然存在,且误识率高导致面积平均差较大。表 5 列出了所有实验区域的整体检测结果,相比前 3 种方法,本文提出的形态 Snake 算法的误识率和

漏识率整体较低,总体检测得分高出近 6%。并且本文算法的面积平均差比前 3 种方法低了很多,单棵树冠面积平均差只有 0.81m^2 ,比前 3 种方法低了近 30%。

表 5 整体检测结果

方法	$R_{extr}/\%$	$R_{mat}/\%$	$R_{com}/\%$	$R_{om}/\%$	A_{mean}/m^2	M
RG	106	82	21	18	1.01	69
TM	90	77	14	23	1.20	68
Watershed	139	91	27	16	1.30	67
形态 Snake	113	87	21	13	0.81	73

结束语 单木树冠检测是精准林业发展中的一项重要任务,因此本文提出了一种基于 Snake 模型的高分辨率遥感影像的单木树冠检测。高分辨率遥感影像相比于 LIDAR 数据获取难度低,既可以使用无人机拍摄的 RGB 波段的航空照片,又可以使用亚米级卫星拍摄的卫星影像,因此高分辨率遥感影像具有更广阔的应用场景。我们没有直接选择 NDVI 作为树林特征,而是先进行了林区特征分析,从而选取更具有区分度的林区特征,因此本文方法具有更出色的泛化能力。本文方法在树冠顶点检测时既考虑了树木的形态学特征,又兼顾了其光谱特征,因此树冠顶点的提取更加准确,且参数依赖性低,只需要很少的先验知识,如树木最小间距。实验结果表明,本文方法相比于区域生长法和模板匹配法取得了更高的检测得分和更低的面积平均差值,树冠轮廓形状更接近目译结果,因此是一种出色的单木树冠检测方法。此外,形态 Snake 算法可以将曲线演变到贴合树冠轮廓,因此该算法还可以用于优化区域生长或分水岭算法等单木树冠检测的轮廓形状。但是 Snake 模型还有一些不足之处,例如其在郁闭度高的复杂森林场景下同其他一些单木树冠检测方法一样,检测效果不够理想。

参考文献

- [1] DAVIS L S. Forest Management: To Sustain Ecological, Economic, and Social Values[J]. Estudio Fao Montes, 2001: 575-646.
- [2] HYYPP J, YU X, HYYPP H, et al. Advances in Forest Inventory Using Airborne Laser Scanning[J]. Remote Sensing, 2012, 4(5): 1190-1207.
- [3] PINZ A. A computer vision system for recognition of trees in aerial photographs[C] // International Association of Pattern Recognition Workshop, NASA Conference Publication 3099. 1991.
- [4] ERIKSSON M, PERRIN G, DESCOMBES X, et al. A comparative study of three methods for identifying individual tree crowns in aerial images covering different types of forests[C] // Proceedings of International Society for Photogrammetry & Remote Sensing Marne La. 2006.
- [5] WANG L, GONG P, BIGING G S. Individual tree - crown delineation and treetop detection in high-spatial-resolution aerial imagery[J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2004, 70(3): 351-357.
- [6] TARP-JOHANSEN M J. Automatic stem mapping in three dimensions by template matching from aerial photographs[J]. Scandinavian Journal of Forest Research, 2002, 17(4): 359-368.
- [7] ZHAO Y, HAO Y, ZHEN Z, et al. A Region-Based Hierarchical Cross-Section Analysis for Individual Tree Crown Delineation Using ALS Data[J]. Remote Sensing, 2017, 9(10): 1084.

从图中可以得到,采用结合网络拓扑结构和专家规则的方法对预处理后的告警数据进行关联分析的根源告警的平均正判率为 86.6%,平均误判率为 28.7%。通过分析告警减少率、根源告警正判率和误判率以及时间性能,证明了本文提出的网络告警关联方法具有较高的告警减少率和正判率,能够有效且快速实现告警的关联分析。

结束语 本文提出的基于网络拓扑结构的网络告警关联方法具有较高的可行性和实用性,能够很好地解决其他方法不适用于大型无线网络以及不具有学习能力的问题。下一步工作将研究如何将目前集中式的告警关联方式转变成分布式并行管理来进一步提高关联效率。

参 考 文 献

- [1] CHENG M X, WU W B. Data Analytics for Fault Localization in Complex Networks[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2016, 3(5):1.
- [2] TORAB H, HOUMAI M E. Alarm data correlation utilizing method for use on e. g. Internet, involves applying set of rules to correlated alarm data to identify root cause for outage and to determine whether trouble ticket will be generated for outage: USA, 2008181099[P]. 2008-07-31.
- [3] LI J, WANG H, LIU Y. Research of Fault Alarm Correlation Analysis Based on Association Rules in Communication Network[C]//International Conference on Applied Informatics and Communication. Berlin: Springer, 2010: 40-48.
- [4] HOU S, ZHANG X. Analysis and Research for Network Management Alarms Correlation Based on Sequence Clustering Algorithm[C]//International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. IEEE, 2008: 982-986.
- [5] WU P H, PENG W C, CHEN M S. Mining Sequential Alarm Patterns in a Telecommunication Database[M]//Databases in Telecommunications II. Springer Berlin Heidelberg, 2001: 37-51.
- [6] OUH J Z, WU P H, CHEN M S. Experimental Results on a Constrained Based Sequential Pattern Mining for Telecommunication Alarm Data[C]//International Conference on Web Information Systems Engineering. IEEE, 2001: 186-193.
- [7] AMARAL A A, ZARPELÃO B B, MENDES L D S, et al. Inference of network anomaly propagation using spatio-temporal correlation[J]. Journal of Network & Computer Applications, 2012, 35(6): 1781-1792.
- [8] AWAD M, HAMDOUN H. A framework for modelling mobile radio access networks for intelligent fault management[C]//Basic Sciences and Engineering Studies. Sudan: IEEE, 2016: 43-49.
- [9] 陈瑜, 陈国龙. Wu-Manber 算法性能分析及其改进[J]. 计算机科学, 2006, 33(6): 203-205.
- [10] GUYET T, QUINIQUO R. Extracting Temporal Patterns from Interval-Based Sequences[C]//International Joint Conference on Artificial Intelligence. Barcelona, Catalonia, Spain: ACM, 2011: 1306-1311.
- [11] LIU P, LI X M, FENG Y Q. An algorithm of multi-level fuzzy association rules mining with multiple minimum supports in network faults diagnosis[C]//International Conference on Natural Computation. China: IEEE, 2013: 884-888.
- [12] QUTEISHAT A, LIM C P. A modified fuzzy min-max neural network with rule extraction and its application to fault detection and classification[J]. Applied Soft Computing, 2008, 8(2): 985-995.
- [13] QADER K, MO A. Fault Classification System for Computer Networks Using Fuzzy Probabilistic Neural Network Classifier [C]//Communications in Computer and Information Science. Germany: Springer, 2014: 4789-4807.
- [14] MOHAMED M, H A. A Fuzzy Neural Network Fault Diagnostic System[J]. International Journal of Computer Applications, 2014, 94(94): 9-13.
- [15] SARAVANAN M, JYOTHI V L. A novel approach for sequential pattern mining by using genetic algorithm[C]//Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies. India: IEEE, 2014: 284-288.
- [16] TIKUNOV D, NISHIMURA T. Automated troubleshooting of mobile networks based on alarm and performance data using bayesian networks[C]//International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks. Croatia: IEEE, 2008: 1-5.
- [8] ZAREMBA M B, GOUGEON F A. Fusion of High-Resolution Satellite and Lidar Data for Individual Tree Recognition[C]//Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE 2006). Ottawa Congress Centre, Ottawa, Canada. 2006: 1112-1115.
- [9] KASS M, WITKIN A, TERZOPOULOS D. Snakes: Active contour models [J]. International Journal of Computer Vision, 1988, 1(4): 321-331.
- [10] COHEN L D, COHEN I. A finite element method applied to new active contour models and 3D reconstruction from cross sections[C]//International Conference on Computer Vision. IEEE, 1990: 587-591.
- [11] XU C Y, PRINCE J L. Gradient vector flow[M]//Computer Vision. Springer US, 2014: 349-354.
- [12] 汪梅, 李琳, 汪斌, 等. 分水岭算法应用于主动轮廓模型能量分割算法的研究[J]. 计算机科学, 2017, 44(5): 314-319.
- [13] ÁLVAREZ L, BAUMELA L, HENRÍQUEZ P, et al. Morphological snakes[C]//2010 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). IEEE, 2010: 2197-2202.
- [14] ZHEN Z, QUACKENBUSH L J, STEHMAN S V, et al. Agent-based region growing for individual tree crown delineation from airborne laser scanning (ALS) data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2015, 36(7): 1965-1993.
- [15] HUNG C, BRYSON M, SUKKARIEH S. Multi-class predictive template for tree crown detection[J]. Isprs Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2012, 68(3): 170-183.
- [16] YANG J, HE Y, CASPERSEN J. A multi-band watershed segmentation method for individual tree crown delineation from high resolution multispectral aerial image[C]//2014 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). IEEE, 2014: 1588-1591.

(上接第 273 页)