

结合 C-V 模型水平集与形态学的彩色树木图像分割

白雪冰, 郭景秋, 陈 凯, 祝 贺, 张庭亮

(东北林业大学 机电工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

摘 要: 树木图像分割是一种从图像中把树木与周围背景完整分离的技术, 是计算机仿真学科在林业应用方面的核心内容, 也是计算机视觉方向的研究热门, 为林业应用提供一定的技术支持。根据树木图像含有分裂、合并、形成尖角等相对比较复杂形状的特点, 首先对图像运用基于 C-V 模型水平集的计算, 通过计算活动轮廓长度和差异量来判断迭代收敛的情况, 待迭代稳定后对其进行形态学后处理操作, 将某些过分割区的细密纹理和噪声剔除, 从而得到全局最佳优化的图像分割效果。为彩色树木图像的分割提供一种更为有效的方法。

关键词: 树木; 图像分割; C-V 模型; 水平集; 形态学处理

中图分类号: S771.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2015)02-0196-05

Color Tree Image Segmentation Method Integrating A Set of C-V Plane Models with Morphological Processing Operation

BAI Xue-bing, GUO Jing-qiu, CHEN Kai, ZHU He, ZHANG Ting-liang

(College of Machinery Electricity, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040, China)

Abstract: Tree image segmentation is a technology that separates trees from their surrounding landscapes. It is the core technology in virtual reality and computer simulation of forestry applications, and is also one of the focus areas in machine vision to provide basic data and technical support for the application of computer technology in forestry. Because of the characteristics of complex shapes of the tree images, which contain fission, mergence and sharp corner formation, and so on. This paper used a set of C-V plane models, by calculating the active contour length and the difference quantity to judge the iterative convergence, waiting until the iterative becomes stable, and then combined with later morphological processing operation, the fine texture and noise in the non-target sections of the primarily segmented image could be eliminated, so that the overall optimized image segmentation effect could be obtained in a rapid and accurate way. This result might provide color tree image segmentation with an effective method.

Key words: tree; color image segmentation; C-V model; plane set; morphological processing operation

随着图像处理技术的不断发展, 基于“精准林业”理论的相关研究相继出现, 树木图像分割的研究越来越受到重视。在自然场景中拍摄的树木图像容易受到光照、天气等噪声干扰, 这些使得树木图像的准确提取分割工作更加困难, 快速精准地提取树木图像变得越来越迫切^[1]。目前对树木图像分割的算法很多, 蔡世捷^[2]通过提取树木图像的绿色通道信

息及过绿特征来完成分割, 但是当背景中含有与所要分割的树木有相似过绿特征的景物时, 会出现部分过分割情况。赵茂程^[3]采用分形维数和颜色相结合对树木图像进行分割, 树木的边缘细节能够有效得到探索, 但实时性差, 而且对面积小的目标树木会出现误分割的现象。王晓松^[4]以马尔可夫随机场理论为基础, 把抠图和区域生长技术相结合, 但该算法

比较复杂,还需要人机交互。本研究的重点为将树木图像先进行 C-V 模型水平集分割,然后结合形态学后处理操作对彩色树木图像进一步分割,分别对简单环境下的目标图像、复杂环境下的单个目标图像及多目标图像进行大量的试验,将目标树木与各种环境背景分离,通过合理选择中心点、运动半径及迭代次数等提高图像分割速度,获得完整的树木图像。

1 C-V 模型水平集介绍

为了能够更加精准地确定树木图像边界,将其更加完整地分割提取,采用的是 Chan 和 Vese 提出的 C-V 模型。基于 C-V 模型的水平集演化算法具有全局特性,通过使得能量函数逐渐变得变小来演化曲线^[5-8],在面积项 $Area(inside(C))$ 和长度项 $Length(C)$ 的共同作用下,使得运动曲线逐渐逼近

$$\begin{cases} c_0(\varphi)=\frac{\int_{\Omega}I(x,y)H_{\epsilon}(\varphi)dxdy}{\int_{\Omega}H_{\epsilon}(\varphi)dxdy},c_b(\varphi)=\frac{\int_{\Omega}I(x,y)(1-H_{\epsilon}(\varphi))dxdy}{\int_{\Omega}(1-H_{\epsilon}(\varphi))dxdy} \\ \frac{\partial \varphi}{\partial t}=\delta_{\epsilon}(\varphi)\left[\mu \nabla \cdot \frac{\nabla \varphi}{|\nabla \varphi|}-v-\lambda_1(I(x,y)-c_0)^2+\lambda_b(I(x,y)-c_b)^2\right] \\ \varphi(0,x,y)=\varphi_0(x,y) \end{cases} \quad (4)$$

式中: $H_{\epsilon}(\varphi)=\frac{1}{2}\left(1+\frac{2}{\pi}arctg\left(\frac{\varphi}{\epsilon}\right)\right)$, $\delta_{\epsilon}(\varphi)=\frac{1}{\pi}\frac{\epsilon}{\epsilon^2+\varphi^2}$ 。

2 形态学处理操作

经过 C-V 模型水平集曲线演化后得到初次全局最优分割效果图,但其中有许多孤立点、细密纹理及非目标区域的噪声。为了去除这些干扰,使得树木图像分割更加精确完整,对其进行形态学处理操作,具体操作如下:

第 1 步:采用适当的元素对分割后树木图像进行膨胀,获取树冠的连通部分^[9-10];

第 2 步:填充树木在分割过程中产生的孔洞部分^[11];

第 3 步:经过膨胀操作后的图像会比原目标稍大一些,为了减小误差,采用腐蚀操作使结果图像接近原图像的尺寸;

第 4 步:应用圆盘形结构元素进行先闭后开操作,滤除一些孤立点或者非目标区域的噪声;

第 5 步:进行开闭重构运算,可以有效地消除图像剩余的细弱噪声,处理后的图像可以保持原有的结构形式不变,与原图像边界基本不存在差异。

第 6 步:将形态学操作后的二值图像与原树木图像相乘,得到树木彩色图像^[12-13]。

目标物边缘,采用的能量函数如下:

$$F(C,c_0,c_b)=\mu \times Length(C)+v \times Area(inside(C))+\lambda_1 \int_{\Omega} |u_0(x,y)-c_0|^2dxdy+\lambda_2 \int_{\Omega} |u_0(x,y)-c_b|^2dxdy \quad (1)$$

式中: $v \geq 0, \mu \geq 0$, 且 λ_1, λ_2 均为 >0 的常数,且均为各个能量的权正系数。一般 $\lambda_1=\lambda_2=0, v=0$ 。C 是演化曲线,定义 φ_0 为所选择的最初化运动曲线 C_0 的带有符号方向性的距离函数,用下面的函数表示曲线 C:

$$L(c)=\int_{\Omega} |\nabla H|dxdy=\int_{\Omega} \delta(\varphi) |\nabla \varphi|dxdy \quad (2)$$

式(2)用水平集函数 φ 表达为:

$$F(C,c_0,c_b)=\mu \int_{\Omega} \delta(\varphi) |\nabla \varphi|dxdy+v \int_{\Omega} H(\varphi)dxdy+\lambda_1 \int_{\Omega} |I-c_0|^2H(\varphi)dxdy+\lambda_2 \int_{\Omega} |I-c_b|^2H(\varphi)dxdy \quad (3)$$

推导求解式(4),由 φ 表达的偏微分方程和数值解法,称为 C-V 模型,偏微分方程:

3 彩色树木图像分割流程

综上所述,得出 C-V 模型水平集及形态学后处理算法的步骤,分割流程如图 1 所示。

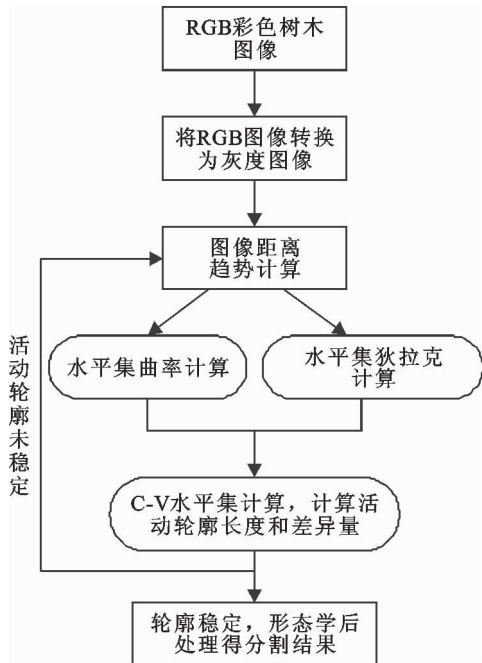


图 1 分割流程

Fig. 1 Segmentation flowchart

4 结果与分析

为了使得树木图像的分割结果更加快速精准,采集不同环境下的树木图像,作为试验所用数据库,对其做大量试验。

4.1 对简单环境下的树木图像的分割

原图应用基于 C-V 模型的水平集图像分割方法,分割过程图像如(图 1)中含有的(图 2a~图 2e),可以探讨影响图像基于 C-V 模型的水平集分割效果的因素。

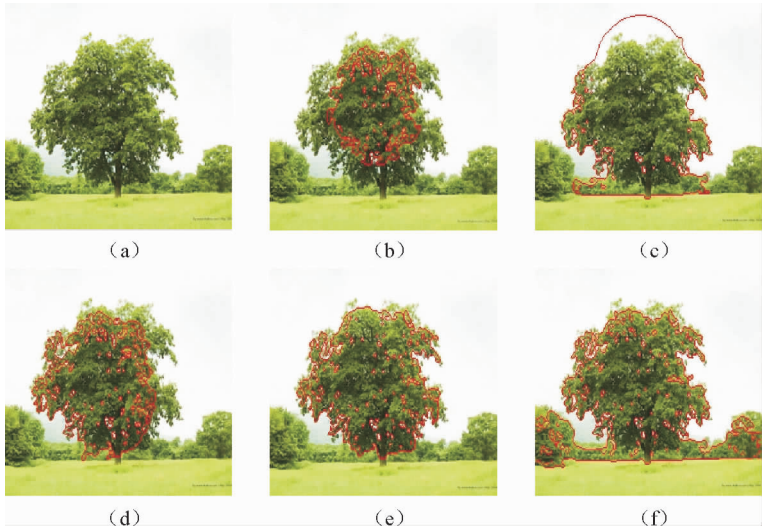


图 2 C-V 模型的水平集分割

Fig. 2 C-V model level set segmentation

图 2(b)是在迭代次数为 $n=30$ 的情况下,由于分割的迭代次数选值较少,无法将目标图像完全分割出来。图 2(c)是在 $n=100$ 的情况下,因为距离半径选取过长,导致曲线运动曲线圆变大,由向外扩张转为向内收缩运动,分割没有到达目标边界就停止了运动。图 2(d)是在 $n=100$ 情况下,所选中心点位置在图像的左下方,所以演化运动得到的分割结果也会在左下方。图 2(e)是在 $n=100$ 的情况下,选取居中的点作为起始点,另一点选择恰当的一定的纵向距离的点,二值间的距离作为水平集变化运动曲线的半径长度,可以看到得到的初分割结果较为理想。图 2(f)是在 $n=500$ 的情况下,使得图像分割超过该有的范围。

综上所述,可以分析出影响图像分割方法效果的因素是中心点的位置、运动长度半径的大小以及迭代次数,这要根据图像的目标区域的具体情况具体分析。为了更直观地观察分割结果的轮廓线与原图像边界的差异大小,下面对其进行形态学后处理,先进行标注连通对象,计算标注面积,删除小面积区域,去除非目标区域的干扰,最后应用 canny 边缘检测来得到图像二值化边缘轮廓线^[14-16]。

4.2 复杂环境下单个彩色树木图像的分割

分割过程即结果如图 3、图 4、图 5、图 6 所示。对基于 C-V 模型的水平集分割图像进行形态学后处理^[17],采用尺寸大小为 4 的八边形结构元算

进行膨胀,腐蚀操作,然后应用尺寸大小为 1 的圆盘形结构运算进行开闭运算,经 canny 边缘检测得到图像二值化后的轮廓边缘^[18-19]。此图背景较为复杂,含有其他植物以及建筑物等干扰。由分割结果看出,获得了完整闭合轮廓曲线,完全排除了周围环境的干扰,结合形态学后处理对树木中存在的空洞进行了有效分割。当 $n=200$,运行时间为 1 045.695 000 s。



图 3 原图 2

Fig. 3 Artwork 2



图 4 C-V 模型水平集分割

Fig. 4 C-V model segmentation

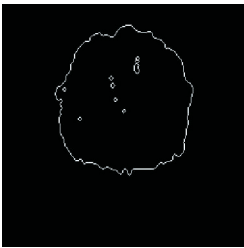


图 5 后处理的二值图像

Fig. 5 Binary image



图 6 分割结果

Fig. 6 Segmentation result

4.3 复杂环境下多个彩色树木图像的分割

对树木图 7 进行分析,图中的 2 棵树木出现了粘连,边界信息比较微弱。为了可以实现分割出任意一棵树木的图像,先指定对左面的树木进行分割,分割过程如图 8、图 9、图 10 所示。



图 7 原图 3

Fig. 7 Artwork 2



图 8 C-V 模型水平集分割

Fig. 8 C-V model segmentation

迭代次数 $n=50$,运行时间为 230. 168 000 s。然后指定对右面的一棵树用同样的方法对其进行分割,结果如图 11、图 12、图 13 所示。

迭代次数 $n=40$,运行时间为 187. 539 000 s。最后将图像的 2 个目标作为一个整体进行分割,结果如图 14、图 15、图 16 所示。

迭代次数 $n=380$,运行时间为 1 217. 466 000 s。

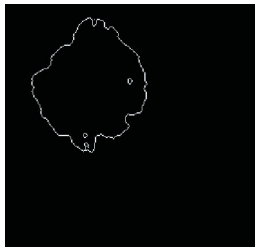


图 9 后处理的二值图像

Fig. 9 Binary image



图 10 分割结果

Fig. 10 Segmentation result



图 11 C-V 模型水平集分割

Fig. 11 C-V model segmentation



图 12 后处理的二值图像

Fig. 12 Binary image



图 13 分割结果

Fig. 13 Segmentation result

由上述试验得出,图 7 中 2 棵树木颜色几乎一致,而且彼此出现粘连的情况。为了成功地将其分割开来,仅仅靠颜色或者普通的分割是很难实现的。而应用基于 C-V 模型的水平集曲线演化分割方法,可以指定其中任意一个目标,对其进行分割,然后进行

形态学后处理,保留了更多的绿色树木信息,树木内部的空洞也检测出来了。而且可以实现多目标的分割,对 2 棵树木间的凹陷处也具有一定的分割效果,消除了周围噪音干扰,得到独立完整的目标区域。



图 14 C-V 模型水平集分割
Fig. 14 C-V model segmentation



图 15 后处理的二值图像
Fig. 15 Binary image



图 16 分割结果
Fig. 16 Segmentation result

5 结论

运用基于 C-V 模型水平集算法并结合形态学后处理操作实现彩色树木图像分割,该算法不受外界环境和噪声干扰。基于这种全局优化特点,获得的树木图像信息更完整。通过不断地调整影响因素来提高分割速度和分割效果。证明该算法可以更加有效地对彩色树木图像进行分割。

参考文献:

[1] 任德智. 区域森林资源健康评价指标体系研究[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(2): 194-199.
REN D Z. A study on index system about health assessment of regional forest resources[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(2): 194-199. (in Chinese)

[2] 蔡世捷. 基于 Matlab 的树木图像分割方法研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2005.

[3] 赵茂程. 基于分形理论的树木图像分割的方法[J]. 农业机械学

报, 2004, 35(2): 60-67.

ZHAO M C. Tree image segmentation method based on the fractional dimension[J]. Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(2): 60-67. (in Chinese)

[4] 王晓松. 复杂背景下树木图像提取研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.

[5] 冯媛. 结合梯度和区域信息的多尺度水平集图像分割[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(35): 180-184.
FENG Y. Multi-scale level set image segmentation combined of gradient and region information[J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(35): 180-184. (in Chinese)

[6] 刘建磊. 主动轮廓模型和高斯模型在图像处理中的应用研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2012.

[7] 庞冬冬. 基于改进主动轮廓模型的图像分割算法[D]. 太原: 太原理工大学, 2013.

[8] 董凯宁. 基于水平集及主动轮廓线模型的图像分割研究[J]. 成都工业学院学报, 2008, 42(1): 56-63.

[9] 王宇. 基于形态学梯度重构和标记提取的分水岭图像分割[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(11): 67-74.
WANG Y. Watershed segmentation based on morphological gradient reconstruction and marker extraction[J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(11): 67-74. (in Chinese)

[10] 才辉. 数学形态学连通性理论及应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.

[11] 张大坤. 形态学中闭运算功能的扩展及其应用[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46(27): 185-187.
ZHANG D K. Function extension of morphological closing operation and its application[J]. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(27): 185-187. (in Chinese)

[12] 陈佳祥. 高分辨率遥感影像草地和树木分类方法研究[D]. 厦门: 集美大学, 2011.

[13] 尹星云, 王峻. 基于改进的彩色图像形态学膨胀和腐蚀算子设计[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(14): 172-176.
YIN X Y, WANG J. Improved operators to dilate and erode color images based on morphology[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(14): 172-174.

[14] 赵建新. 边缘特性及边缘检测在图像插值算法中的应用研究[J]. 信息科学, 2009, 22(2): 58-63.

[15] 孔银昌. 数字图像边缘提取算子基于 Matlab 的实现[J]. 价值工程, 2012, 15(3): 170-174.
KONG Y C. On digital image edge detection operator based on matlab[J]. Value Engineering, 2012, 15(3): 170-174. (in Chinese)

[16] 杜宏博. 智能视觉导航系统中图像处理算法的研究及实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2010.

[17] 曹世梅. 基于雾的能见度黑体识别的研究[J]. 成都信息工程学院学报, 2008, 23(1): 56-64.

[18] 杨金刚. 基于数学形态学的遥感图像边缘信息提取技术研究[D]. 成都: 成都理工大学, 2011.

[19] 钱璐璜, 雷江丽, 庄雪影. 3 种草本蕨类植物耐旱性研究[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(1): 22.
QIAN T H, LEI J L, ZHUANG X Y. Anti-drought stress capacity of 3 herbal ferns[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(1): 22. (in Chinese)