

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2012 **2**  
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会主办  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年2月 第17卷 第2期(总第190期)

## 目次

### 综述

内容感知图像缩放技术综述 ..... 施美玲,徐丹(157)

### 图像处理和编码

引入纹理相似性的纺织品图像增强 ..... 杨学志,田晓梅,方静,卢洁(169)

保持边缘特征和增强对比度的图像缩放算法 ..... 计忠平,方美娥,王毅刚,吴向阳(178)

以图像认证为目的的分形编码数字水印算法 ..... 黄晓晴,于盛林(183)

结合运动矢量和像素递归的全局运动估计方法 ..... 赵亚湘,刘少强,樊晓平(191)

无缝栅格数据小波金字塔构建 ..... 马伯宁,冷志光,汤晓安,匡纲要(197)

### 图像分析和识别

伪彩色空间完全非结构化道路检测方法 ..... 胡晓辉,孙苗强,苏晓许(203)

未知环境下机器人障碍物检测技术 ..... 王文格,武凯宾,朱江,段文彬,许重阳(209)

局部 GAC 模型在医学图像分割中的应用 ..... 张建伟,方林,陈允杰,詹天明,罗春燕(215)

判别割(Dcut)的图像分割及其快速分割算法 ..... 邹小林,陈伟福,冯国灿(222)

改进的遮挡条件下瞳孔检测方法 ..... 潘林,魏丽芳,郑炳锜,余轮(229)

木材显微图像的局部水平集分割方法 ..... 汪杭军,祁亨年(236)

关键点检测的线要素综合算法 ..... 黄志坚,张金芳,徐帆江(241)

GPU 加速的高分辨率 DEM 图像地形特征线提取算法 ..... 刘洲俊,胡包钢(249)

改进 GVF 的自动 Snakes 模型 ..... 周亚男,程熙,骆剑承,沈占锋,胡晓东(256)

曲波变换用于磨粒图像不变矩的提取 ..... 张云强,张培林,任国全,王国德,徐超,李兵(263)

### 图像理解和计算机视觉

深度图像中基于轮廓曲线和局部区域特征的3维物体识别 ..... 吴莉婷,张宇,杨一平,田原(269)

机载 LiDAR 数据的 LZD 航带平差 ..... 王丽英,宋伟东(279)

## 计算机图形学

基于 Z 曲线的瓦片地图服务空间索引 ..... 聂云峰,周文生,舒坚,许虎(286)

## 虚拟现实和增强现实

GPU 加速的台风可视化方法 ..... 秦绪佳,张勤锋,陈坚,郑红波,徐晓刚(293)

# 中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健 月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 2 期

2012 年 2 月 16 日出版

**主管单位** 中国科学院  
**主 办** 中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会  
北京应用物理与计算数学研究所

**主 编** 李小文

**编辑出版** 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京 9718 信箱 邮编 100101

电子信箱:jig@irsa.ac.cn

电话:010-68407995 010-82614429

网 址:www.cjig.cn

**印刷装订** 北京北林印刷厂

**广告经营许可证** 京朝工商广字第 0346 号

**总 发 行** 北京报刊发行局

**订 购** 全国各地邮局

**国外发行** 中国国际图书贸易总公司

(中国国际书店)

(北京 399 信箱 邮编 100044)

**Superintended by** Chinese Academy of Sciences  
**Sponsored by** Institute of Remote Sensing Application,  
CAS China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational  
Mathematics  
**Chief editor** LI Xiaowen  
**Editor, Publisher** Editorial and Publishing Board  
of Journal of Image and Graphics  
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)  
E-mail:jig@irsa.ac.cn  
**Distributed by** Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals  
**Domestic** All Local Post Offices in China  
**Foreign** China International Book Trading Corporation  
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)  
**Printed by** Beijing Beilin Printing House

# Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 2 February 2012

## Contents

### Review

Survey on content-aware image resizing techniques ..... Shi Meiling, Xu Dan (157)

### Image Processing and Coding

Enhancement of textile image with texture similarity ..... Yang Xuezhi, Tian Xiaomei, Fang Jing, Lu Jie (169)

Edge-preserving and contrast-enhancement image scaling ..... Ji Zhongping, Fang Mei'e, Wang Yigang, Wu Xiangyang (178)

Watermarking method on fractal coding for image authentication ..... Huang Xiaoqing, Yu Shenglin (183)

Global motion estimation method with motion vectors and pixel recursion ..... Zhao Yaxiang, Liu Shaoqiang, Fan Xiaoping (191)

Seamless wavelet pyramid construction for raster data ..... Ma Boning, Leng Zhiguang, Tang Xiao'an, Kuang Gangyao (197)

### Image Analysis and Recognition

Completely unstructured road detection for pseudo-color space ..... Hu Xiaohui, Sun Miaoqiang, Su Xiaoxu (203)

Obstacle detection for robot in unknown environment .....  
..... Wang Wenge, Wu Kaibin, Zhu Jiang, Duan Wenbin, Xu Chongyang (209)

Application of local GAC model for medical image segmentation .....  
..... Zhang Jianwei, Fang Lin, Chen Yunjie, Zhan Tianming, Luo Chunyan (215)

Fast image segmentations of Deut ..... Zou Xiaolin, Chen Weifu, Feng Guocan (222)

Improved method for the pupil measurement under occlusion ..... Pan Lin, Wei Lifang, Zheng Bingkun, Yu Lun (229)

Segmentation method of wood microscopic image based on local level set ..... Wang Hangjun, Qi Hengnian (236)

Algorithm of line generalization with key point detection ..... Huang Zhijian, Zhang Jinfang, Xu Fanjiang (241)

High resolution DEM topographic feature line extraction algorithm using GPU ..... Liu Zhoujun, Hu Baogang (249)

Automatic snakes model based on modified GVF ..... Zhou Yanan, Cheng Xi, Luo Jiancheng, Shen Zhanfeng, Hu Xiaodong (256)

Invariant moment extraction by curvelet transform for wear particle images .....  
..... Zhang Yunqiang, Zhang Peilin, Ren Guoquan, Wang Guode, Xu Chao, Li Bing (263)

### Image Understanding and Computer Vision

Three-dimensional free-form object recognition based on contour curve and local surface patches in range images .....  
..... Wu Liting, Zhang Yu, Yang Yiping, Tian Yuan (269)

Least Z-difference strip adjustment of airborne LiDAR data ..... Wang Liying, Song Weidong (279)

### Computer Graphics

Spatial index for tile map service based on Z curve ..... Nie Yunfeng, Zhou Wensheng, Shu Jian, Xu Hu (286)

### Virtual Reality and Augmented Reality

GPU accelerated typhoon visualization method ..... Qin Xujia, Zhang Qinfeng, Chen Jian, Zheng Hongbo, Xu Xiaogang (293)

中图法分类号: TP301.6 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)02-0236-05

论文引用格式: 汪杭军, 祁亨年. 木材显微图像的局部水平集分割方法[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(2): 236-240

# 木材显微图像的局部水平集分割方法

汪杭军, 祁亨年

浙江农林大学信息工程学院, 临安 311300

**摘要:** 获取木材显微图像中的细胞组织对于分析木材的种类、材性, 以及天气变化等均有重要的意义, 而这依赖于图像分割技术。针对木材组织的不均匀性, 以及标本制作和获取过程中带来的噪声, 将水平集方法中边缘型和区域型两种模型引入, 同时结合局部图像信息来提高局部不均匀图像的分割性能。在图像初始分割基础上, 通过面积阈值去除水泡等杂质, 最终提取导管组织。实验结果表明, 提出的模型所得到的分割图像较平滑, 而且噪声明显减少, 可有效分割局部不均匀木材显微图像。

**关键词:** 图像分割; 灰度不均匀; 水平集; 能量函数; 木材显微图像

## Segmentation method of wood microscopic image based on local level set

Wang Hangjun, Qi Hengnian

School of Information Engineering, Zhejiang A&F University, Lin'an 311300, China

**Abstract:** Obtaining various tissues from microscopic of wood images has important significance for the analysis of wood properties, weather changes, and wood species, which relies on the results of image segmentation techniques. Level Set is conducted in the segmentation of wood images in our experiments described in this paper. After the combination of the edge-based and region-based models in Level Set, we introduce the local cues in image to improve the image segmentation performance for the wood tissue's inhomogeneity and reduce the noise caused by the production of wood specimens. Then, an area threshold is used to get rid of blisters and other impurities in the image to obtain the wood pores at last. Experiments show that the proposed method can smoothly segment images of local non-uniform wood microstructure, and significantly reduced the noise.

**Key words:** image segmentation; intensity inhomogeneity; level set; energy function; wood microscopic image

## 0 引言

木材显微构造中的导管、木射线、轴向薄壁组织、树脂道等组织的形态和分布特征对于树种的识别、木材的性质, 以及天气环境的变化研究等均有重要的意义<sup>[1]</sup>。随着机器视觉和图像处理技术的发展, 木材显微构造中的各种组织对象的自动分割成为可能。例如祁亨年, Wang 等人

采用数学形态学对导管进行的分割, 并用于木材树种的识别中<sup>[2-4]</sup>。

通过对木材图像进行有效的分割, 特征提取和参数测量的精确性才能得到保证, 从而使得更高层次的图像分析成为可能。传统的图像分割的方法有基于梯度算子、阈值法、形态学方法等<sup>[5]</sup>。图1给出了典型的几种图像分割方法的比较。从图中可以发现, 对于木材显微图像使用传统的分割方法均存在分割失败的情况。这是

收稿日期: 2011-04-02; 修回日期: 2011-05-09

基金项目: 国家自然科学基金项目(60970082); 浙江省自然科学基金项目(Y3090061); 浙江省科技厅科研项目(2008C21087)

第一作者简介: 汪杭军(1975—), 男, 副教授, 主要从事模式识别、机器视觉及图像处理方面研究。E-mail: hangjunw@mail.usct.edu.cn

由于木材组织的不均匀性,以及木材标本制作和获取时所带来的噪声,使得基于梯度和形态学的

分割方法对于木材组织的模糊边缘很难获得较好的效果。

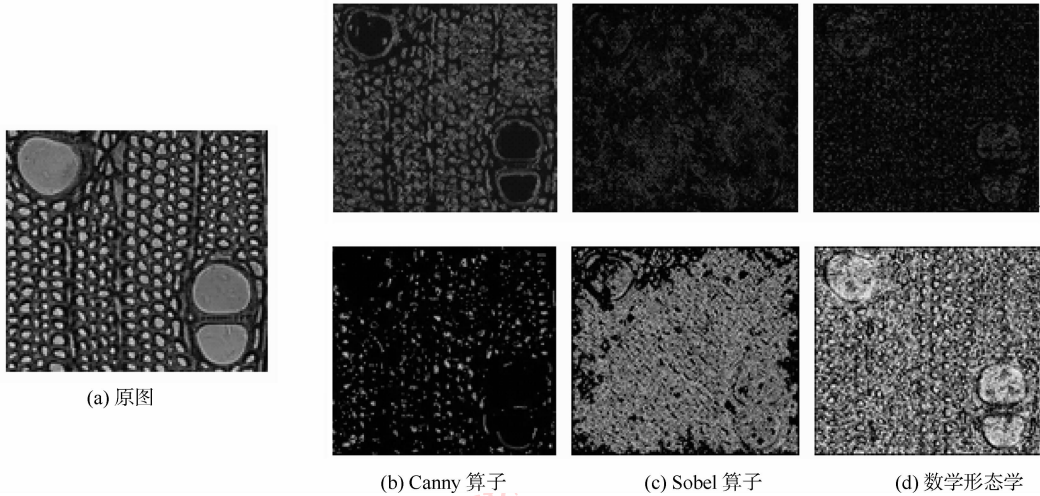


图1 各种图像分割方法比较

Fig. 1 Comparison of different segmentation methods

传统分割方法由于其自身的局限性,难以满足复杂分割的要求。水平集方法正是在这种需求下应运而生。Caselles<sup>[6]</sup>和Malladi<sup>[7]</sup>几乎同时将水平集方法引入到图像处理和计算机视觉领域,并创立了几何活动轮廓(geometric active contour)模型。自此之后,水平集方法在图像处理的多个领域得到了广泛应用,如图像分割、图像恢复、图像增强、目标跟踪、形状检测与识别、3维图像重建等,现已成为图像处理领域研究的热点。水平集方法作为图像分割领域的一个研究热点,相比传统的图像分割方法,有着较强的数学背景,并具有以下显著的特点<sup>[8]</sup>:

- 1) 最终得到的图像轮廓可以达到亚像素的精度;
- 2) 通过约束目标轮廓为光滑,同时融入其他关于目标形状的先验信息,算法可以具有较强的鲁棒性;
- 3) 使用光滑的闭合曲线表示物体的轮廓,可应用于非闭合轮廓的提取,从而可以避免传统图像分割方法中的预/后处理过程。

水平集方法可分为边缘型和区域型两类,其中几何活动轮廓是边缘型方法之一,它们利用局部边缘信息使得演化曲线逼近目标轮廓。由于过于依赖目标边缘的梯度信息,对于梯度变化不明显的边缘效果不理想。而区域型水平集利用某种区域信息来引导曲线向目标轮廓进行逼近,从而解决了这些问

题。其中,最具代表性的是基于简化Mumford-Shah能量泛函<sup>[9]</sup>的Chan-Vese(CV)模型<sup>[10]</sup>。

近年来,结合边缘型和区域型思想,同时使用局部统计信息和区域描述信息,构建混合型水平集模型是一个重要的研究趋势。Brox等人<sup>[11]</sup>提出将局部统计信息嵌入变分法水平集框架的构想。An等人<sup>[12]</sup>提出一种多尺度局部化方法,使得分割对图像的粗糙和精细区域具有自适应性。Lankton等人<sup>[13]</sup>提出将区域型能量以一种完全变分法的形式进行局部化,从而可分割灰度不均匀目标。Li等人<sup>[8]</sup>构造一种LBF模型用于分割灰度不均匀目标。为提高演化曲线对于目标的逼近能力,一些研究者已进行了一些探索。例如,Chan<sup>[14]</sup>在CV模型中使用水平集函数的海氏函数差来表达的形状规约项;Karantzalos<sup>[15]</sup>通过对竞争性形状先验信息进行整合,自动分析目标对象的数目和姿态等。

本文首先引入局部图像信息降低木材显微图像由于局部不均匀而造成的分割困难。然后通过面积阈值,解决水泡等杂质问题。通过实验验证所提出的模型能较好地木材显微图像进行分割。

## 1 基于局部信息的水平集方法

基于曲线演化理论、局部统计函数以及水平

集方法,采用混合型水平集方法来进行木材显微图像的分割。传统的水平集方法或者使用图像梯度或者使用全局区域信息来驱动演化曲线向真实轮廓进行逼近,但是在分割灰度不均匀图像时均不能取得理想的结果,将全局和局部信息融合在一起,从而使得分割可不受图像中灰度不均匀效应的影响。

采用的局部水平集模型由 3 部分组成:全局项  $E^G$ , 局部项  $E^L$  和规整项  $E^R$ , 这样总的能量泛函可以描述如下<sup>[16]</sup>:

$$E^{LCV} = \alpha E^G + \beta E^L + E^R \quad (1)$$

### 1.1 全局项

全局项直接来源于 CV 模型,其主要基于演化曲线  $C$  内部和外部的图像均值  $c_1$  和  $c_2$ , 可用式(2)表达:

$$E^G(C) = \int_{\text{inside}(C)} |u_0(x, y) - c_1|^2 dx dy + \int_{\text{outside}(C)} |u_0(x, y) - c_2|^2 dx dy \quad (2)$$

这一项保证了拥有全局的统计信息。但是这只能处理那些背景和背景强度差别比较大的图像,对于强度不均匀的图像,全局项不能准确地进行分割。这是由于均值函数  $c_1$  和  $c_2$  很难表达目标和背景区域中不均匀的灰度。因此,为了取得好的分割结果,在模型中引入了局部项。

借助水平集的思想,演化曲线  $C$  可以用 Lipschitz 函数  $\varphi: \Omega \rightarrow R$  的零水平集来表示,即

$$\varphi(x, y) \begin{cases} > 0 & (x, y) \text{ 在 } C \text{ 内} \\ = 0 & (x, y) \in C \\ < 0 & (x, y) \text{ 在 } C \text{ 外} \end{cases} \quad (3)$$

在引入图像域  $\Omega$  上的水平集函数  $\phi$  之后,全局项可被改写为如下的形式:

$$E^G(c_1, c_2, \phi) = \int_{\Omega} |u_0(x, y) - c_1|^2 \times H(\phi(x, y)) dx dy + \int_{\Omega} |u_0(x, y) - c_2|^2 (1 - H(\phi(x, y))) dx dy \quad (4)$$

式中,  $H(z)$  是海氏函数。

### 1.2 局部项

通过引入局部统计信息的局部项  $E^L$  使得模型能分割灰度不均匀图像,其局部项定义如下:

$$E^L(C) = \int_{\text{inside}(C)} |g_k * u_0(x, y) - u_0(x, y) - d_1|^2 dx dy +$$

$$\int_{\text{outside}(C)} |g_k * u_0(x, y) - u_0(x, y) - d_2|^2 dx dy \quad (5)$$

式中,  $g_k$  是窗口大小为  $k$  的平均卷积算子,  $d_1$  和  $d_2$  分别是卷积后的图像与源图像的差值 ( $g_k * u_0(x, y) - u_0(x, y)$ ) 在曲线内部和外部的灰度均值。使用该局部项的理论依据是灰度不均匀图像中,在较小的局部区域中灰度还是保持着均匀特性的,并且总的目标灰度分布与背景灰度分布也是不同的。以局部灰度分布的均值作为统计信息,通过将卷积之后的图像与原始图像做差值,可以使得目标与背景的灰度对比度大大增强。

采用水平集的思想,引入水平集函数  $\phi(x, y)$  后可将局部项  $E^L$  改写为如下的形式:

$$E^L(d_1, d_2, \varphi) = \int_{\Omega} |g_k * u_0(x, y) - u_0(x, y) - d_1|^2 \times H(\varphi(x, y)) dx dy + \int_{\Omega} |g_k * u_0(x, y) - u_0(x, y) - d_2|^2 \times (1 - H(\varphi(x, y))) dx dy \quad (6)$$

### 1.3 规整项

为保持零水平集的光滑,并且在最后的分割结果中避免较小和孤立的区域的出现,在模型中推出规整项,由曲线长度  $L(C)$  组成。当曲线朝着目标边界的方向运动时,这一项保证了曲线的光滑性。

假设  $C$  是一个光滑封闭的平面曲线  $C(p): [0, 1] \rightarrow \Omega, p \in [0, 1]$ , 则曲线  $C$  的长度为  $L(C) = \oint_C dp$ 。用水平集函数  $\phi(x, y)$  的零水平集来替代曲线  $C$ , 则  $L(C)$  可改写为

$$L(\phi = 0) = \int_{\Omega} |\nabla H(\phi(x, y))| dx dy = \int_{\Omega} \delta(\phi(x, y)) |\nabla \phi(x, y)| dx dy \quad (7)$$

式中  $H(z)$  和  $\delta(z)$  分别是海氏函数和狄拉克函数。

由于演化曲线  $C$  可被 Lipschitz 函数  $\phi$  的零水平集所替换,则在式(1)中描述的总能量泛函可表示为

$$E^{LCV}(\phi) = \alpha \cdot E^G(\phi) + \beta \cdot E^L(\phi) + E^R(\phi) \quad (8)$$

通过演化水平集函数  $\phi$ , 图像分割过程被转换为能量泛函  $E^{LCV}$  最小化的过程。关于该模型的数值计算可参考文献[16]。

## 2 实验结果及分析

为了检验局部水平集模型对木材显微构造中

的组织分割效果,使用 Matlab 7 对模型进行了仿真。实验所用的计算机的配置为 Intel Core 2 Duo 2.26 GHz 处理器,2 G 内存,Windows XP 操作系统。

在实验中,选择的参数如下:时间步长  $\Delta t = 0.1$ , 网格间隔  $h = 1$ ,正则化参数  $\varepsilon = 1$  (计算  $H_\varepsilon(z)$  和

$\delta_\varepsilon(z)$  时用),平均卷积算子的窗口大小  $k = 15$ , 曲线演化终止准则的阈值  $T_{ii} = 10$  和  $\xi_{\text{length}} = 5$ ;局部项的控制参数  $\beta = 1$ ,全局项的控制参数  $\alpha = 0.1$ ,长度惩罚项参数  $\mu = 0.01 \times 255^2$ 。对 4 种不均匀木材显微图像(见图 2(a))进行了实验,分割的效果如图 2(b)。

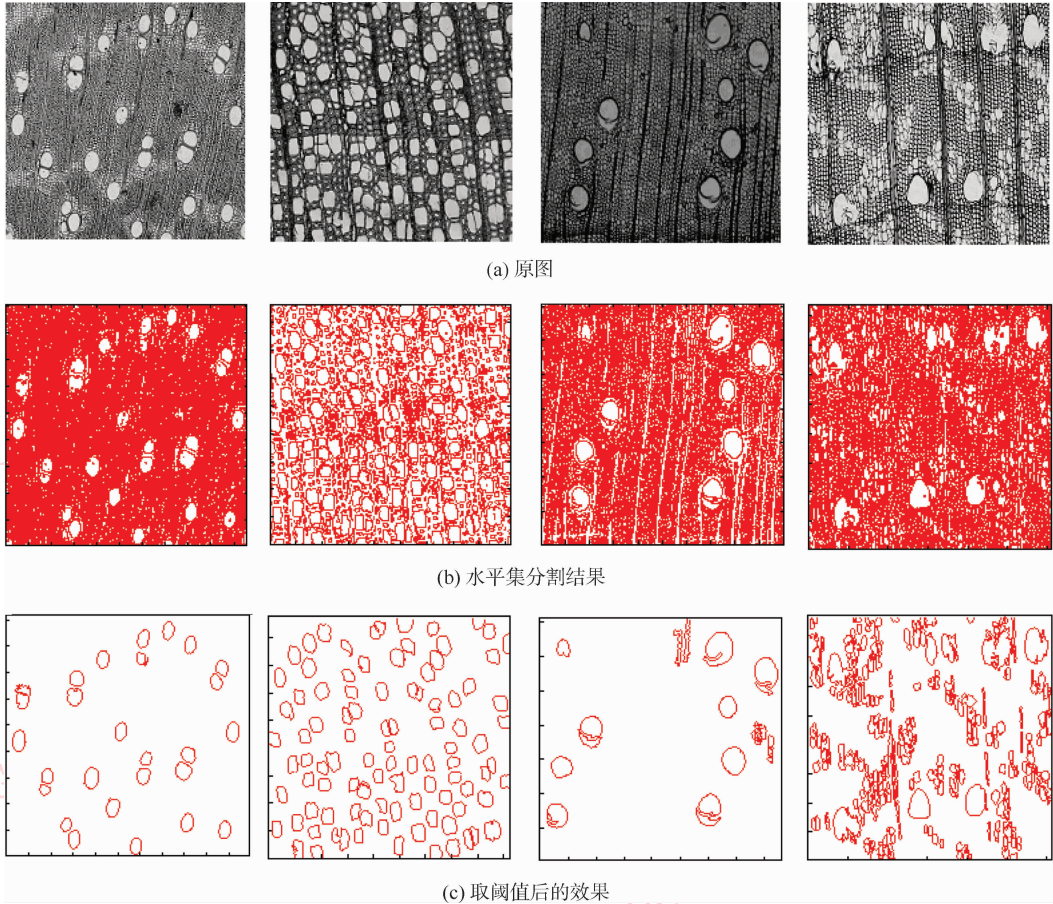


图 2 分割效果图

Fig. 2 Segmentation results

从实验的结果可以看到对于木材显微纹理图像的分割,采用水平集可以获得较为理想的效果。由于在模型中引入了局部项,使得前景灰度与背景灰度的对比度得到了一定程度的增强。与传统水平集方法相比,演化曲线逼近目标轮廓的能力得到加强。特别是,在局部项中使用的是一个相对较大窗口( $k = 15$ )的卷积算子,从而起到在数值演化方案中隐性地增加网格间隔  $h$  的作用。这使得在分割图像的过程中,即使处于图像角落的初始轮廓也可以快速膨胀并逼近真实轮廓。

导管是木材显微图像中最重要的组织之一,

通过它可以帮助进行木材的种类识别以及材性分析。因此往往需要分割导管语义特征。由于导管的面积相对于其他的组织要大,提出基于类圆区域面积直方图的多目标遗传算法<sup>[17]</sup>,自动寻找最佳阈值,将导管与木纤维、轴向薄壁等形状相似,大小不同的组织分开。对图 2(b)中获得的结果进一步采用阈值进行分割,得到图 2(c)所示结果。实验表明该方法能够对各种导管的分布和组合均能获得较为满意的导管分割效果。但是,对于有些轮廓较大的木射线,也会将之作为导管而分割进来。阈值法对于这种情况将失去作用,见图 2(c)中的后两幅。

### 3 结论

由于木材显微图像具有复杂的纹理,对其中的各种细胞组织要进行准确的分割十分困难。然而对这些语义对象的分割效果将直接影响到对木材的后续数据处理和分析。

将局部水平集方法应用到木材显微图像分割中,通过融合全局的和局部信息组成的新能量函数,较好地解决了木材组织的不均匀性,以及标本制作等噪声所带来的分割困难。特别是充分利用局部信息,加强了图像的局部对比度,用普通的区域拟合思想分割不均匀图像。另外该模型的曲线演化速度也是比较快的。在实验中,通过20次迭代之后,曲线就基本能达到目标轮廓。模型的局部项对于准确的分割起关键的作用,而全局项则加强了曲线演化的稳定性。

另外,基于类圆区域面积直方图的多目标遗传算法,通过自动寻找最佳阈值来提取导管语义对象,获得了比较满意的分割效果。但是对于有些面积较大的木射线,该方法也会将它作为导管而分割进来。然而木射线的形状表现为一定长度和宽度的线条,因此可以通过形状特征与导管进行区分。这些将是进一步研究需要做的工作,包括形状与导管类似的轴向薄壁组织的区分。

### 参考文献 (References)

- [ 1 ] Mayo S C, Chen F, Evans R. Micron-scale 3D imaging of wood and plant microstructure using high-resolution X-ray phase-contrast microtomography [ J ]. *Journal of Structural Biology*, 2010,171(2) :182-188.
- [ 2 ] Qi H N, Chen F N, Fang L M, et al. A method for wood pore image segmentation based on mathematical morphology [ J ]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(4) :12-16. [ 祁亭年,陈丰农,方陆明,等.一种基于数学形态学的导管图像分割方法 [ J ]. *北京林业大学学报:自然科学版*, 2008, 30(4) :12-16. ]
- [ 3 ] Wang H J, Qi H N, Li W Z, et al. A GA-based automatic pore segmentation algorithm [ C ] // *Proceedings of the First ACM/ SIGEVO Summit on Genetic and Evolutionary Computation*. New York, NY: ACM, 2009:985-988.
- [ 4 ] Wang H J, Zhang G Q, Qi H N, et al. Multi-objective optimization on pore segmentation [ C ] // *Proceedings of the 2009 Fifth International Conference on Natural Computation*. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009:613-617.
- [ 5 ] Zhang Y J. Survey on evaluation methods for image segmentation [ J ]. *Pattern Recognition*, 1996, 29(8) :1335-1346.
- [ 6 ] Caselles V, Catta F, Coll T, et al. A geometric model for active contours [ J ]. *Numerische Mathematik*, 1993, 66:1-31.
- [ 7 ] Malladi R, Sethian J A, Vemuri B C. Shape modeling with front propagation: a level set approach [ J ]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1995, 17(2) :158-175.
- [ 8 ] Li C M, Kao C Y, Gore J C, et al. Minimization of region-scalable fitting energy for image segmentation [ J ]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2008, 17(10) :1940-1949.
- [ 9 ] Mumford D, Shah J. Optimal approximation by piecewise smooth functions and associated variational problems [ J ]. *Communications on Pure and Applied Mathematics*, 1989, 42: 577-685.
- [ 10 ] Chan T, Vese L A. Active contours without edges [ J ]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2001, 10(2) :266-277.
- [ 11 ] Brox T, Cremers D. On the statistical interpretation of the piecewise smooth Mumford-Shah functional [ C ] // *International Conference on Scale Space and Variational Methods in Computer Vision*. Berlin: Springer, 2007:203-213.
- [ 12 ] An J, Rousson M, Xu C. Gamma-convergence approximation to piecewise smooth medical image segmentation [ C ] // *Proceedings of International Conference on Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention*. Berlin: Springer, 2007:495-502.
- [ 13 ] Lankton S, Tannenbaum A. Localizing region-based active contours [ J ]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2008, 17(11) :2029-2039.
- [ 14 ] Chan T, Zhu W. Level set based shape prior segmentation [ J ]. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (S1063-6919)*, 2005, 2:1164-1170.
- [ 15 ] Karantzas K, Paragios N. Recognition-driven two-dimensional competing priors toward automatic and accurate building detection [ J ]. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 2009, 47(1) :133-144.
- [ 16 ] Wang X F, Huang D S. An efficient local Chan-Vese model for image segmentation [ J ]. *Pattern Recognition*, 2010, 43(3) : 603-618.
- [ 17 ] Wang H J, Zhang G Q, Qi H N, et al. Multi-objective optimization on pre Segmentation [ C ] // *Proceedings of the Fifth international Conference on Natural Computation*. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2009:613-617.