

Gabor 小波理论的植物根系图像边缘检测研究

Studying the Edge Detection of Images of Plant Roots
Based on Gabor Wavelet Theory

宋文龙 王立辉 曹 阳

(东北林业大学教育部生物质材料科学与技术重点实验室,黑龙江 哈尔滨 150040)

摘 要: 植物根系中提取出的植物根系图像具有噪声较大、受光照强度变化影响大等特点,利用 Gabor 小波能够多方向、多尺度滤波及确定时频最佳意义下纹理的边缘特性,提出了运用 Gabor 小波检测植物根系图像边缘的方法。Matlab 仿真结果表明,采用该方法提取的轮廓更接近于真实轮廓图像,验证了该方法的有效性和可行性。

关键词: 植物根系 图像噪声 边缘检测 Gabor 小波 Matlab 仿真

中图分类号: TP215

文献标志码: A

Abstract: The images of plant root that extracted from the study of plant root usually accompany with big noises, and are affected by variation of the light intensity. Because Gabor wavelet is able to filter in different direction and in multiple scales, and determine the characteristics of the grain edge under optimal time and frequency significance, thus it is proposed that using Gabor wavelet for detecting image edge of the plant root. The result of Matlab indicates that the contour extracted by this method is closer to real contour image, so the effectiveness and feasibility of this method are verified.

Keywords: Plant root Image noise Edge detection Gabor wavelet Matlab simulation

0 引言

边缘检测存在一定的复杂性。传统的边缘检测方法虽然易于实现且具有较好的实时性,但在抗噪性能和边缘定位方面往往不能得到满意的效果^[1-2]。利用 Gabor 函数作为滤波器实现纹理分割,能够在时频最佳意义下确定纹理的边缘,从而得到多方向、多尺度的滤波结果,综合这些结果,就可捕捉到绝大多数不同方向的边缘点。

植物根系图像边缘检测是数字图像处理技术在植物根系研究中的重要内容。为建立有效的根系分布理论模型^[3-4],本文构建了一种 Gabor 滤波边缘提取算子,以获取固坡植物生长过程中根形态的图像;然后在特定方向下,对这些图像进行多尺度边缘信息提取,以获得不同尺度下的边缘特征信息;最后对这些信息进行分析 and 融合,从中得到植物根系图像边缘轮廓。

1 2D Gabor 函数

2D Gabor 小波函数定义为^[5-6]:

$$\Psi_{u,v}(z) = \frac{\|k_{u,v}\|^2}{\sigma^2} e^{(-\|k_{u,v}\|^2 \|s\|^2 / 2\sigma^2)} [e^{ik_{u,v} \cdot s} - e^{-\frac{\pi}{2}}] \quad (1)$$

式中: u 为 Gabor 核函数的方向; v 为 Gabor 核函数的尺度; $z = (x, y)$ 为图像中的一个像素点; $\|\cdot\|$ 表示求对应值的欧式范数; $k_{u,v}$ 控制高斯窗口的宽度、振荡部分的波长及方向,定义为 $k_{u,v} = k_v e^{i\theta}$, 其中, $k_v = k_{\max} / f^v$ 为滤波器采样频率, k_{\max} 为最大采样频率, f 为限制频域中核函数距离的间隔因子; $\theta_u = \pi u / 8$, 为滤波器的方向选择性。参数 σ 决定了高斯窗宽与波长之比,它与滤波器的带宽之间的关系为:

$$\sigma = \sqrt{2 \ln 2 \left(\frac{2^\varphi + 1}{2^\varphi - 1} \right)} \quad (2)$$

式中: φ 为用倍频程表示的半峰带宽。当 $\varphi = 0.5$ 倍频程时, $\sigma \approx 2\pi$; 当 $\varphi = 1$ 倍频程时, $\sigma \approx \pi$; 当 $\varphi = 1.5$ 倍频程时, $\sigma \approx 2.5$ 。

式(1)中的 Gabor 核函数是自相似的,通过对 Gabor 滤波器进行适当的旋转和尺度变化,即调节方向参数 u 和尺度参数 v (它们可以由母函数统一生成)。每个 Gabor 核都是由高斯函数包络的复平面波。式(1)方括号中的第一项决定了 Gabor 核的振荡部分,第二项则补偿直流分量,当参数 σ 的值较大时,直流分量可以忽略不计。

由式(1)可见, Gabor 函数 $\Psi_{u,v}(Z)$ 是一个 $R^2 \rightarrow C$

国家自然科学基金资助项目(编号:F010602)。

修改稿收到日期:2010-08-25。

第一作者宋文龙,男,1973年生,2008年毕业于东北林业大学控制理论与控制工程专业,获博士学位,教授;主要从事林业工程自动化、智能控制及检测方面的研究。

上的复值函数, 设 $R_{u,v}(z) = \frac{\|k_{u,v}\|^2}{\sigma^2} e^{(-\|k_{u,v}\|^2 \|z\|^2 / 2\sigma^2)} \times (-e^{i\frac{\pi}{4}})$ 为 2D Gabor 函数的实部, $I_{u,v}(z) = \frac{\|k_{u,v}\|^2}{\sigma^2} \times e^{(-\|k_{u,v}\|^2 \|z\|^2 / 2\sigma^2)} e^{ik_{u,v}z}$ 为 2D Gabor 函数的虚部, 则有:

$$\Psi_{u,v}(z) = R_{u,v}(z) + I_{u,v}(z) \quad (3)$$

图像 $I(x, y)$ 的 Gabor 滤波可以通过 Gabor 函数与图像 I 的卷积获得。给定图像中的一点 $z_0(x_0, y_0)$, Gabor 小波变换描述了点 z_0 附件区域的图像特征, 其卷积过程如下:

$$o_{u,v}(z_0) = I(z_0) * \Psi_{u,v}(z_0 - z) d^2z \quad (4)$$

式中: $*$ 为卷积; $o_{u,v}(z_0)$ 为点 z_0 处的卷积值。

为了获得图像多方向及多尺度下的局部显著特征, 我们通常取一组 Gabor 核函数, 它们具有不同的方向参数 $u(u=0, \dots, U-1)$ 及尺度参数 $v(v=0, \dots, V-1)$ 。因此, 集合 $S = \{o_{u,v}(z) : u \in \{0, \dots, U-1\}, v \in \{0, \dots, V-1\}\}$ 形成了图像 I 的 Gabor 小波特征表示。

关于 Gabor 小波函数中的参数如 u, v, σ, k_{\max} 及 f 的选择仍然是一个开放性的问题^[7]。通常情况下有:

取 $V=5$, 则 $v=0, 1, \dots, 4$;

取 $U=8$, 则 $u=0, 1, \dots, 7$;

取 $\sigma = 2\pi, k_{\max} = \pi/2, f = \sqrt{2}$ 。

当然, 我们可根据实际情况选择最恰当的参数值。

由于边缘和噪声都是高频信号, 而利用 Gabor 理论能实现时域信号的局部化, 所以将 Gabor 理论应用于图像边缘检测问题, 能较好地实现抗噪和边缘定位, 方便在噪声和边缘中作取舍。

2 仿真及结果分析

在实验过程中, 采用 Matlab 软件对植物根系图像作图像处理。在不同的方向和尺度下, 图像包含一定的边缘信息, 可按以下步骤实现边缘检测^[8-9]:

① 选取合适的 Gabor 小波函数, 在同一方向、不同的尺度下, 对所给的图像 $f(x, y)$ 作 Gabor 小波滤波, 变换尺度视情况而定;

② 在每一不同尺度下, 求每个像素点与 Gabor 小波函数的卷积, 得到局部极大值点, 从而得到可能的边缘;

③ 对各尺度的边缘图像设置阈值 TH , 求取边缘点, 大于等于 TH 的点作为边缘点保留, 小于 TH 的点置零, 求取图像边缘;

④ 将不同尺度下的边缘点连接起来, 得到不同尺度下的图像边缘。

本文选择在特定方向($u=5$)时, 多尺度地对根系原图进行 Gabor 滤波, 并与其他方法进行比较。不同算法下的根系边缘提取仿真结果如图 1 所示。

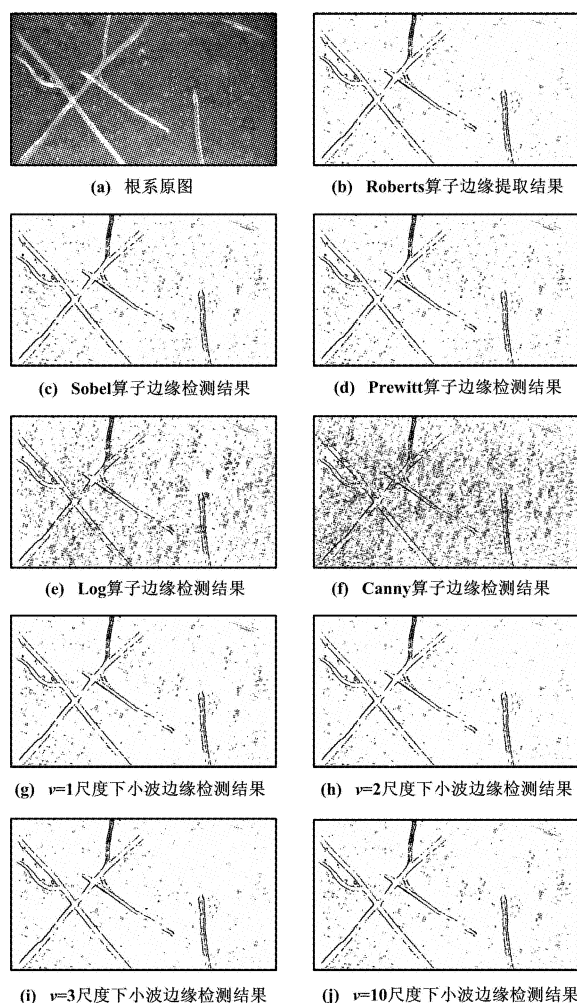


图 1 仿真结果图

Fig. 1 Results of simulation

在图 1 中, 图 1(a) 为根系原图像, 图 1(b)、1(c)、1(d)、1(e)、1(f) 分别为采用传统的 Robert 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子、Log 算子和 Canny 算子进行的根系轮廓提取结果。可以看出, 这些算子检测出的图像假边缘较多, 同时图像目标的真边缘丢失得也多, 抗噪性能和边缘的连续性较差。图 1(g)、1(h)、1(i)、1(j) 分别是在相同方向($u=5$)、不同尺度($v=1, v=2, v=3, v=10$) 下采用 Gabor 小波变换的根系边缘提取结果。

从图 1 中可以看出, 与传统的边缘检测算子检测效果相比, 基于 Gabor 小波变换的算法检测的图像边缘连续性好, 检测边缘的精度较高, 且具有一定的抗噪能力; 此外, 它还能检测出很多经典算子所不能检测

(下转第 28 页)

采用同样的输入信号,做 200 次独立仿真;然后通过统计平均,求出均方误差输出信号的时域和频域波形以及误差。改进算法滤波信号曲线如图 5 所示。

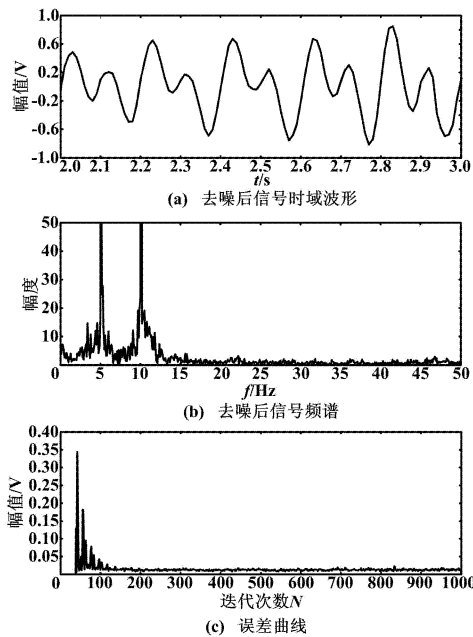


图 5 改进算法滤波信号曲线

Fig. 5 Filtering signal curves of the improved algorithm

文献[7]的作者提出一种新型的自适应谱线增强算法,有效改进了算法的稳定性。本文通过采用改进前算法、文献[7]中给出的算法以及改进后的算法对同一信号进行滤波处理,并选取三种算法在误差曲线中的点进行比较,结果如表 1 所示。由比较数据可以得出改进算法较为稳定。

表 1 三种算法误差稳态时的比较

Tab. 1 Comparison of steady-state error among three algorithms

| 算 法 | 误 差 | | |
|---------|---------|---------|---------|
| | 200 点处 | 400 点处 | 600 点处 |
| Sigmoid | 0.013 7 | 0.014 9 | 0.018 6 |
| 文献[7]算法 | 0.018 2 | 0.014 9 | 0.017 6 |
| 本文改进算法 | 0.007 9 | 0.008 8 | 0.008 5 |

4 结束语

本文根据变步长的自适应谱线增强算法的特点,针对 VS-LMS 算法在自适应稳态阶段仍有较大步长变化的缺点,对算法进行了改进,并对改进算法进行了仿真验证。通过验证,从频域中可以看出改进算法有较好的去噪效果;从时域上看,去噪后信号波形较为平滑。

参考文献

- [1] 张雯雯,司锡才,柴娟芳,等. 一种新的变步长 LMS 自适应谱线增强算法[J]. 系统工程与电子技术,2009(1):33-35.
- [2] 何振亚. 自适应信号处理[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [3] 赵勃波,盛炜佳,张国远,等. 基于 ALE 的自适应滤波在轴承故障诊断中的应用[J]. 测量与仪器,2009(2):40-43.
- [4] Lee S K, White P R. The emergence of impulsive noise and vibration signals for fault detection in rotating and reciprocating machinery[J]. Journal of Sound and Vibration,1998,217(3):185-505.
- [5] 覃景繁,欧阳景正. 一种新的变步长自适应滤波算法[J]. 数据采集与处理,1997,12(3):171-194.
- [6] 高鹰. 基于累积量的自适应滤波理论及其应用[D]. 广州:华南理工大学,2002.
- [7] 蔡卫菊,金波. 一种改进变步长 LMS 算法的性能研究[J]. 计算机与数字工程,2009(8):39-41.

(上接第 25 页)

的细节,对背景也有一定的抵制作用,其提取的轮廓更接近于真实轮廓图像。同时,经比较可以看出,在 $v=2$ 尺度或 $v=3$ 尺度下检测效果较好。

3 结束语

本文提出了基于 Gabor 小波变换理论的植物根系图像边缘检测的方法,通过图像 Gabor 小波变换与原图像的卷积来检测图像边缘。

实验结果表明,基于 Gabor 小波理论提取的边缘连续性好、定位较精确,能够较准确地检测出有用的边缘信息,具有一定的抗噪声能力,并且可通过调整 Gabor 小波参数变化,寻求最优检测。

参考文献

- [1] 王占臣,庞军. 边坡绿化防护技术的发展和植被护坡机理[J].

- 吉林交通科技,2007,3(2):29-32.

- [2] 戚国庆,胡利文. 植被护坡机制及应用研究[J]. 岩石力学与工程学报,2006,25(11):2220-2225.
- [3] 张飞,陈静曦,陈向波. 边坡生态防护中表层含根系土抗剪试验研究[J]. 土工基础,2005,19(3):25-27.
- [4] 李绍才,孙海龙,杨志荣,等. 坡面岩体-基质-根系互作的力学特性[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(12):2074-2081.
- [5] Bengough A G. Root growth and function in relation to soil structure, composition and strength[C]//Root Ecology, Heidelberg, Berlin, Germany,2003:51-71.
- [6] Lee T S. Image representation using 2D Gabor wavelets[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1996,18(10):959-971.
- [7] 王家文,李仰军. MATLAB7.0 图形图像处理[M]. 北京:国防工业出版社,2006.
- [8] 飞思科技产品研发中心. 小波分析理论与 MATLAB 7 实现[M]. 北京:电子工业出版社,2005.