

树干直径自动识别与测量技术研究

陈金星¹ 岳德鹏¹ 冯仲科¹ 丁家巍² 姚炳全¹ 叶添雄¹

(1. 北京林业大学精准林业北京市重点实验室, 北京 100083; 2. 常州市新瑞得仪器有限公司, 常州 213000)

摘要: 在森林资源调查中为实现树干直径快速、精确测量,使用电子元件进行了树干影像自动识别与测量。通过摄像头和CMOS传感器获得图像,经灰度转换后,使用窗口大小为5行5列的高斯滤波器,利用Canny边缘检测算法提取边缘,包括平滑、非极大值剔除、双阈值的边缘连接等,在提取的边缘图像基础上,设计了树木直径自动提取算法。以4列的窗口为模板,自上而下,对经过Canny算法后的图像进行竖直线段的提取。在提取所有竖线后,将最大宽度的2条竖线当作树干轮廓线,通过焦距、物距、像距与像素宽度之间的关系计算出树干直径。最后选择了不同树种共计16棵树木进行了验证,实验结果表明树干直径识别的精度为96.9%,绝大部分测量数据符合森林资源调查要求。

关键词: 树干直径; Canny边缘检测算法; 自动识别; 图像识别; 测量

中图分类号: S758.5⁺5; TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)03-0349-05

Automatic Recognition and Measurement Technology of Tree Trunk Diameter

Chen Jinxing¹ Yue Depeng¹ Feng Zhongke¹ Ding Jiawei² Yao Bingquan¹ Ye Tianxiong¹

(1. Beijing Key Laboratory of Precision Forestry, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2. Changzhou New Ruide Instrument Co., Ltd., Changzhou 213000, China)

Abstract: Tree trunk diameter is one of the most important tree measuring factors in forest inventory. To quickly and accurately measure the tree trunk, electronic components were applied for tree trunk image recognition and measurement. Application of image processing technology in forest mensuration proposes a solution for accurately measuring trees, which makes non-professional technicians measure trees easily without experience. Images were taken by camera and processed by CMOS. The image was smoothed by Gaussian inverse filter after conversion from RGB to greyscale. Then edge was detected through non-maximum suppression and double thresholds edge connection. Tree trunk automatic detection algorithm was developed on the base of the detecting image. The algorithm used a 4-column window that represented a vertical segment to extract the vertical segments from the images above. The algorithm got rid of the vertical segment with over two successive 0 values, including vertical, horizontal and diagonal directions. The detected 0 value was searched from top to bottom. In addition, individual points in the window were removed. When all the vertical lines were abstracted, the two vertical lines with the maximum width were represented as the tree trunk. Tree trunk diameter was computed according to the relationship among focal length, object distance, image distance and pixel size. The image recognition results were validated by selecting different trees. Results showed that the image recognition precision was 96.9% and most data were conformed to the requirement of forest inventory. The forestry intelligence was explored and the digitizing components was used to realize the forestry intelligence.

Key words: tree trunk diameter; Canny edge detection algorithm; automatic recognition; image recognition; measurement

收稿日期: 2015-11-18 修回日期: 2015-12-28

基金项目: 国家林业局引进国际林业科学技术项目(2014-4-76)和国家自然科学基金项目(41371189)

作者简介: 陈金星(1987—),男,博士生,主要从事林业装备与信息化研究,E-mail: venusandp@gmail.com

通信作者: 岳德鹏(1963—),男,教授,博士生导师,主要从事林业信息化、景观生态和土地评价研究,E-mail: yuedepeng@126.com

引言

调查工具是获取林业调查数据的基础与关键,数据获取的精度和时效性对森林资源调查有重大意义,其中,直径的测量是最为关键的因子之一。在现有的森林资源调查中,资源评估、生物物理建模和生态建模等需要精确的树木测量,如材积、生物量和生长量的计算和林分结构分析、立地质量评价、污染物消减评估等。一般树干直径测量方式主要有各种接触式的卡尺和围尺^[1-5],也有非接触式的各种光学仪器^[6-16],这些仪器需要手动操作,无法测量上部直径,且不具备智能化。利用电子元件和图像处理技术是实现现代化精准林业的重要手段之一,森林计测需由粗放式转变为精细式。基于图像处理技术的测量方法具有自动树干直径识别功能,无专业背景和操作经验的人也能顺利使用。目前,仅有少许研究利用图像处理技术进行林木因子的提取。树木或树形的建模中,通常需要许多参数^[17-21]。针对传统和现有仪器无法进行树干直径自动识别和测量的问题,本研究基于 Canny 算法的相关原理进行竖直线提取,使用电子元件进行快速、精确地树干直径测量。

1 树干直径自动识别与测量原理

实际测量中树干与背景混在一起,难以识别。Canny 算法具有良好的边缘检测效果,主要用在水果、田地和人脸识别等^[22-25]。树木直径计算流程如图 1 所示,主要有灰度转换、Canny 边缘检测、竖直线段提取和直径计算等。

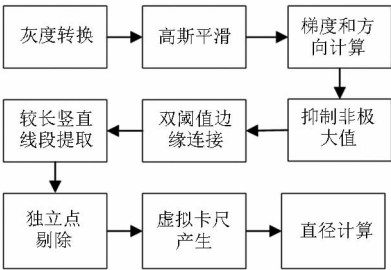


图 1 树干直径计算步骤
Fig. 1 Tree trunk diameter calculation procedures

1.1 Canny 边缘检测

将 CMOS 传感器获取的图像进行灰度转换,设转换后的灰度矩阵为 $G_{640 \times 840}$,灰度 0 ~ 255,则高斯平滑滤波器为

$$h(x,y)=\frac{\exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)}{2\pi\sigma^2}$$

(1)

式中 x,y ——像素位置 σ ——窗口宽度

在此取 $\sigma=1$,窗口大小为 5 行 5 列。由此得到

$$h(x,y)=$$

0.003 0	0.013 3	0.021 9	0.013 3	0.003 0
0.013 3	0.059 6	0.098 3	0.059 6	0.013 3
0.021 9	0.098 3	0.162 1	0.098 3	0.021 9
0.013 3	0.059 6	0.098 3	0.059 6	0.013 3
0.003 0	0.013 3	0.021 9	0.013 3	0.003 0

将灰度图像与高斯滤波器进行卷积运算,有

$$f(i,j)=G(i,j)*h(x,y)$$

(2)

采用 2×2 的模板求取 $f(i,j)$ 在 x 和 y 方向上偏导 x' 和 y' ,由偏导的平方根求得梯度 $K(i,j)$,由 y' 除以 x' 的反三角函数获得角度。再以每个像元为中心,对 3×3 的窗口以 0 ~ 3 编号,180°对角线的编号相同,将中心的值与窗口同编号的值进行对比,比窗口值大的赋值为 1,否则赋值为 0,全部进行对比后得到矩阵 R ^[26-28]。对 R 设 2 个阈值 s_1,s_2 ,其中 s_1 为 s_2 的 0.45 倍。将 $K(i,j)$ 分别与 s_1,s_2 相比,小于 s_1 或 s_2 ,则将 $R(i,j)$ 设为 0,得到 R_1,R_2 两幅图。再以 R_2 为基准,用 R_1 与 R_2 对应位置的 8 邻域区域进行对比,进行轮廓的连接,得到矩阵 I 。最后对矩阵 I 进行取反运算,将背景转变为白色,将边界转变为黑色,从而提出边界。

以复杂背景的竹子为例,竹干、竹叶均为绿色,背景也为绿色,如图 2 所示。图 2b 提取出了图像的边缘,但是也加入了背景中其他边界。在识别基础上,本系统辅以人工识别,通过粗调、微调以达到精度要求。

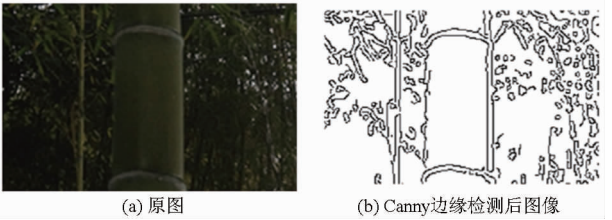


图 2 竹子图像 Canny 边缘检测结果
Fig. 2 Canny edge detection of bamboo image

1.2 竖直线段提取

树木主干提取的方法主要有通过去除背景提取与直接提取 2 种,本文采用后者。由于仪器所拍摄图像中感兴趣的是所要测量的树干,树干在整体图像中占较大面积,因此在背景中提取的竖直线段一般为 2 条线间宽度最大且竖直方向上长度较长的 2 条直线。经过 Canny 运算后,图像阵列变为 0、1 矩阵。为减少运算量,运算时采用屏幕中间处竖轴方向上占四分之一屏幕的图像,即有 640 像素 $\times$ 210 像素参与运算,设为 $I_{210 \times 640}$,这一区域为所测量树干的集中区域,进行以下运算:

(1) 以 $U_{210 \times 4}$ 为模板, 每次取 I 中的 4 列数, 赋值给 U 。设 $V_{210 \times 4}$ 是全为 1 的矩阵, 将 U 和 V 进行与运算, 得到 W 。再定义一个 $S_{210 \times 640}$ 的 0 矩阵。

(2) 以图 3 为例, 对于图 3 左侧的 2 列图, 去掉右侧独立的点, 即将独立点的值赋为 0, 保留左侧的边界。对于图 3 右侧的 2 列图, 应将左侧的独立点去掉, 即将相应的独立点赋值为 0。

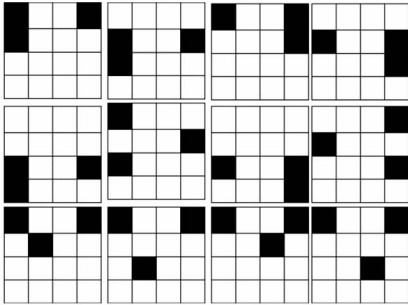


图 3 去除独立点的模板

Fig. 3 Window for removing individual points

(3) 树木边界允许有一个空像素, 将大于 2 个及其以上的空像素去除。在竖直方向上求 W 每行的和, 若连续两行的和为 0, 则此次所取的 W 退出运算, 此外图 4 中的位置关系也退出运算。退出运算的, 右移一格继续取 I 中的 4 列值赋值给 W , 再继续步骤(1)~(3), 直到结束。

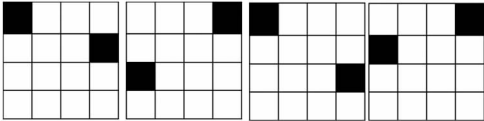


图 4 舍去竖直线段的部分窗口

Fig. 4 Partial windows for abandoning vertical line

(4) 当找到某一列的竖线, 即边界的时候, 将 W 赋值给 S 对应的 4 列值。同时寻找 W 最左和最右的非 0 值得到其列数 W_L 和 W_R , 将 $W_R - W_L$ 得到宽度 L_n , 并将与 W 最右一列对应的 $U_{i,j}$ 的 j 赋值到数组 B , 得到相应位置。

(5) 当到达最右侧的时候, 停止以上全部运算, 将 S 取反。进行竖直线段提取后, 得到主要竖线上的线段(图 5), 左侧的小竹子有较大缝隙, 竖线提取时会将其去除, 此时有 3 条线段。

(6) 一般来说, 树干边缘的宽度越大, 内部反射



图 5 线段提取后的图像

Fig. 5 Image after extracting vertical line segments

和纹理的边缘宽度越小, 找出最大的 2 个 L_n , 若有 2 个以上相同值, 只取最小值和最大值(设为 $B_{\min}$ 和 $B_{\max}$)中对应的 L_n , 最后得到树干边缘的 2 条线。

1.3 树干直径的计算

提取竖线后, 取屏幕中间处, 即矩阵 S 中间行中最左边和最右边为 1 的像元, 在此处产生虚拟卡尺, 卡住树干(图 6), 得到 CMOS 传感器上的长度, 设为 l_{hj} 。如图 7 所示, 树干直径为 l_{ab} , c 点为与镜头中心 o 平行的树干上的一个点, 与 l_{ab} 在同一直线上, u 为焦点。焦距 f 、物距 l_{co} 和相距 l_{oq} 具有关系

$$\frac{1}{l_{co}} + \frac{1}{l_{oq}} = \frac{1}{f} \tag{3}$$

$$l_{oq} = \frac{f l_{co}}{l_{co} - f} \tag{4}$$

$$\frac{l_{co}}{l_{ab}} = \frac{l_{oq}}{l_{hj}} \tag{5}$$

$$l_{ab} = \frac{l_{co} l_{hj}}{l_{oq}} \tag{6}$$

每个像素的宽度为 3.18×10^{-6} m, 焦距可由软件获取。整理式(3)~(6), 得

$$l_{ab} = \frac{3.18 \times 10^{-6} (B_{\max} - B_{\min})}{f} (l_{co} - f) \tag{7}$$



图 6 树干直径的获取

Fig. 6 Obtainment of tree trunk diameter

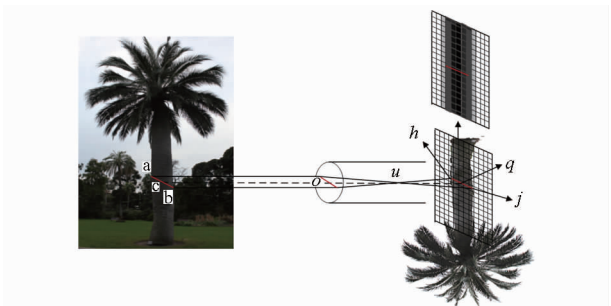


图 7 树干直径测量原理

Fig. 7 Tree trunk diameter measurement principle

2 实验结果与精度评价

将上述识别方法用在电子元件中, 其主要器件

有单片机、激光测距仪、CMOS 传感器和摄像头。CMOS 传感器为 ov9655,摄像头的分辨率为 120 万像素,图像尺寸为视频图形阵列 VGA (Video graphics array),为 640 像素×840 像素,640 为屏宽即横轴方向,840 为屏长即竖轴方向。CMOS 传感器由像素单元阵列、地址编码器、放大器、AD 转换器和其他辅助电路组成,而每个像素由光电二极管等组成,所有像素组成像素阵列。当电子元件对准树干直径时,直径处及其附近在摄像头视野内的光线射入 CMOS 传感器的像素阵列中,在电源和外围电路的作用下,经过光电转换,不同波长和强度的光子产生不同强度的电流。

实验时,选取 8 个不同树种,共计 16 棵树,使用仪器和卡尺测量树干,且卡尺与仪器测量方向一致。精度评价公式为

$$E = \frac{|C - V|}{C} \times 100\%$$

(8)

$$P = \left(1 - \frac{|C - V|}{C} \right) \times 100\%$$

(9)

式中 E ——相对误差 P ——测量精度
 C ——卡尺测量值
 V ——仪器测量值

由表 1 可看出,所测树干直径除了第 4 号紫竹树干误差较大外,精度都在 90% 以上。与卡尺相比,所测树干直径绝对误差绝大多数在森林资源调查要求的 3% 内,自动识别效果较好。总体而言,辅以人工识别有助于精度提高,树干直径平均测量精度为 96.9%,符合精度要求。

3 讨论

采用 Canny 算法提取树木的边缘能够去除大部分背景,留下树木边缘。然后取出屏幕四分之一的图像进行运算,用 $U_{210 \times 4}$ 提取竖直线段,提取过程中

表 1 树干直径的测量精度

Tab.1 Measurement accuracy of trunk diameter

序号	树种	卡尺测量值/cm	仪器测量值/cm	绝对误差/cm	相对误差/%	测量精度/%
1	银杏	22.3	22.7	0.4	1.8	98.2
2	银杏	17.6	17.8	0.2	1.1	98.9
3	紫竹	9.6	10.1	0.5	5.2	94.8
4	紫竹	6.1	6.9	0.8	13.1	86.9
5	槐树	27.7	26.9	-0.8	2.9	97.1
6	槐树	34.2	34.8	0.6	1.8	98.2
7	法桐	57.4	55.9	-1.5	2.6	97.4
8	法桐	49.2	48.4	-0.8	1.6	98.4
9	白蜡	20.6	20.3	-0.3	1.5	98.5
10	白蜡	17.3	16.6	-0.7	4.0	96.0
11	杨树	10.9	11.3	0.4	3.7	96.3
12	杨树	21.9	21.4	-0.5	2.3	97.7
13	臭椿	30.9	31.4	0.5	1.6	98.4
14	臭椿	30.4	29.9	-0.5	1.6	98.4
15	侧柏	20.3	19.6	-0.7	3.4	96.6
16	侧柏	40.6	40.1	-0.5	1.2	98.8
平均值					3.1	96.9

去除水平方向上独立的点,另外允许有一个 0 值像素的存在。当提取一条竖线后,记住其方位,并计算其竖线宽度。最后取宽度最大的 2 条竖线为树干直径,再根据焦距、物距、相距和像素宽度的关系计算出树干直径。本算法树干识别效果好,树干直径测量的自动化程度高,所测树干直径绝大部分误差在 3% 以内,是对林业智能化进行的一次有益探索。

4 结束语

与传统卡尺、直径卷尺测径相比,使用摄像头获取图像,在嵌入设备中进行处理、计算,可实现树干任意处直径测量,测量速度快,测量精度高,平均测量精度为 96.9%,减少了人工操作,提高了工作效率。

参 考 文 献

1 鄢前飞. 林业数字式测高测距仪的研制[J]. 中南林业科技大学学报,2007,27(5):66-70.
YAN Qianfei. The development of digital forestry measuring instrument for height and distance [J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2007, 27(5): 66-70. (in Chinese)

2 裴智永. 树木生长量无线遥测方法及装置研究[D]. 北京:北京林业大学,2010.
PEI Zhiyong. Study of wireless telemetry measurement application of forests biomass and its device[D]. Beijing: Beijing Forest University, 2010. (in Chinese)

3 陈金星,张茂震,赵平安,等. 一种基于拉绳传感器的树木直径记录仪[J]. 西北林学院学报,2013,28(4):188-192.
CHEN Jinxing, ZHANG Maozhen, ZHAO Pingan, et al. A drawware sensor based tree diameter recorder[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013,28(4):188-192. (in Chinese)

4 LAPOINT G, VAN K C. A portable electronic multichannel dendrograph and environmental factor recording system[J]. Canadian Journal of Forest Research, 1971, 1(4): 273-277.

5 BINOT J, POTHIER D, LEBEL J. Comparison of relative accuracy and time requirement between the caliper, the diameter tape and an Electronic Tree Measuring Fork[J]. Forestry Chronicle,1995,71(2):197-200.

6 丛宪冬,闫伟. 基于激光测距的激光测树仪结构设计[J]. 林业机械与木工设备,2012,40(3):42-44.
CONG Xiandong, YAN Wei. Overall structural design of tree height measuring instrument based on laser distance[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2012,40(3):42-44. (in Chinese)

7 舒新展,方凯,胡军国. 一种基于 BP 神经网络图像分割算法的嵌入式测树系统[J]. 计算机科学,2015,42(6A):223–225. SHU Xinzhan, FANG Kai, HU Junguo. Embedded tree measurement system based on BP neural network image segmentation[J]. Computer Science, 2015,42(6A):223–225. (in Chinese)

8 梁长秀,冯仲科,姚山,等. 基于电子经纬仪及 PDA 自动量测的电子角规测树原理、功能及精度研究[J]. 北京林业大学学报,2005,27(增刊2):142–148. LIANG Changxiu, FENG Zhongke, YAO Shan, et al. Principle, practice and accuracy analysis of electronic angle gauge based on electronic theodolite and PDA[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2005,27(Supp.2):142–148. (in Chinese)

9 冯仲科,殷嘉俭,贾建华,等. 数字近景摄影测量用于森林固定样地测树的研究[J]. 北京林业大学学报,2001,23(5):15–18. FENG Zhongke, YIN Jiajian, JIA Jianhua, et al. Forest measurement in fixed sample plot by digital close-range photogrammetric survey[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2001,23(5):15–18. (in Chinese)

10 徐伟恒,冯仲科,苏志芳,等. 手持式数字化多功能电子测树枪的研制与试验[J]. 农业工程学报,2013,29(3):90–99. XU Weiheng, FENG Zhongke, SU Zhifang, et al. Development and experiment of handheld digitalized and multi-functional forest measurement gun[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(3): 90–99. (in Chinese)

11 徐伟恒. 手持式超站测树仪研制及功能测试研究[D]. 北京:北京林业大学,2014. XU Weiheng. Study on handheld tree measurement smart station manufacture and function test[D]. Beijing: Beijing Forest University,2014. (in Chinese)

12 冯仲科,徐伟恒,杨立岩. 利用手持式超站测树仪测量林分空间结构参数[J]. 农业工程学报,2015,31(6):213–217. FENG Zhongke, XU Weiheng, YANG Liyan. Forest stand spatial structure measurement method using handheld tree measurement smart station [J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(6): 213–217. (in Chinese)

13 BRADSHAW F J. Upper stem diameter measurements with the aid of 35 mm photographs[J]. Australian Forest Research,1972, 6(1):17–20.

14 高祥,冯仲科,王智超,等. 基于电子经纬仪立木无损精测技术的干形指数研究[J]. 农业机械学报,2015,46(1):299–305. GAO Xiang, FENG Zhongke, WANG Zhichao, et al. Study on stem form index based on non-destructive precision measurement through electronic theodolite[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015,46(1):299–305. (in Chinese)

15 冯仲科,黄晓东,刘芳. 森林调查装备与信息化技术发展分析[J]. 农业机械学报,2015,46(9):257–265. FENG Zhongke, HUANG Xiaodong, LIU Fang. Forest survey equipment and development of information technology [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015,46(9):257–265. (in Chinese)

16 程朋乐,刘晋浩,王典. 融合激光和机器视觉的立木胸径检测方法[J]. 农业机械学报,2013,44(11):271–275. CHENG Pengle, LIU Jinhao, WANG Dian. Measuring diameters at breast height using combination method of laser and machine vision[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(11):271–275. (in Chinese)

17 杨华,孟宪宇,刘燕,等. 单株立木图像信息的提取与解算[J]. 北京林业大学学报,2005,27(1):51–54. YANG Hua, MENG Xianyu, LIU Yan, et al. Measurement and calculation methods of stem image information[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2005,27(1):51–54. (in Chinese)

18 JORDAN M,JUSTIN M, CHRISTOPHER G. 3D modelling of individual trees using a handheld camera: accuracy of height, diameter and volume estimates[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2015, 14(4):932–940.

19 BORIS N, THOMAS F, OLIVER D. Approximate image-based tree-modeling using particle flows[J]. ACM Transactions on Graphics, 2007,26(3):88-1–88-8.

20 翁浩,贾金原. 单张图片树木 L-system 的智能提取算法[J]. 计算机科学与探索,2013,7(2):145–151. WENG Hao, JIA Jinyuan. Intelligent extraction of tree L-system from a single image[J]. Journal of Frontiers of Computer Science and Technology, 2013, 7(2):145–151. (in Chinese)

21 赵茂程,郑加强,林小静,等. 基于 BP 神经网络的树形识别系统研究[J]. 林业科学,2004,40(1):154–157. ZHAO Maocheng, ZHENG Jiaqiang, LIN Xiaojing, et al. Research on tree crown recognition system based on BP networks[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004,40(1):154–157. (in Chinese)

22 王娜,李霞. 一种新的改进 Canny 边缘检测算法 [J]. 深圳大学学报:理工版, 2005, 22(2):149–153. WANG Na, LI Xia. An improved edge detection algorithm based on the Canny operator[J]. Journal of Shenzhen University: Science and Engineering, 2005, 22(2):149–153. (in Chinese)

23 贺强,晏立. 基于 LOG 和 Canny 算子的边缘检测算法[J]. 计算机工程,2011,37(3):210–212. HE Qiang, YAN Li. Algorithm of edge detection based on LOG and Canny operator[J]. Computer Engineering, 2011,37(3): 210–212. (in Chinese)

24 周志宇,刘迎春,张建新. 基于自适应 Canny 算子的柑橘边缘检测[J]. 农业工程学报,2008, 24(3):21–24. ZHOU Zhiyu, LIU Yingchun, ZHANG Jianxin. Orange edge detection based on adaptive Canny operator [J]. Transactions of the CSAE, 2008,24(3):21–24. (in Chinese)

25 张超,王志浩,杨建宇,等. 基于 Canny 算子的农田线状工程地物自动提取方法[J]. 农业机械学报,2015,46(2):270–275. ZHANG Chao, WANG Zhihao, YANG Jianyu, et al. Farmlandlinear project feature auto-extraction method based on Canny algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015,46(2):270–275. (in Chinese)

26 李牧,闫继红,李戈,等. 自适应 Canny 算子边缘检测技术[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2007, 28(9):1002–1007. LI Mu, YAN Jihong, LI Ge, et al. Self-adaptive Canny operator edge detection technique[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2007, 28(9):1002–1007. (in Chinese)

27 王小俊,刘旭敏,关永. 基于改进 Canny 算子的图像边缘检测算法[J]. 计算机工程, 2012, 38(14):196–198. WANG Xiaojun, LIU Xumin, GUAN Yong. Image edge detection algorithm based on improved Canny operator [J]. Computer Engineering, 2012, 38(14):196–198. (in Chinese)

28 SHRIRAM K V, SIVARAMAN R. Automotive image processing technique using Canny’s edge detector[J]. International Journal of Engineering Science and Technology, 2010, 2(7):2632–2644.