西北林学院学报 2018,33(3):232-237
Journal of Northwest Forestry University

doi:10.3969/j.issn.1001-7461.2018.03.36

基于改进归一化割的立木边缘识别技术研究

鄂　雪,程朋乐*

(北京林业大学 工学院,北京 100083)

摘　要:立木胸径是评价林木生长状况的重要依据,采用机器视觉的检测方法,实现立木胸径的自动测量。为了快速准确地识别立木边缘,根据立木图像的特点,提出特定方向的归一化分割方法。预处理采用具有保边去噪功能的双边滤波器对立木图像进行滤波,用局部均值法进行一定的像素减少处理。本研究重点是在传统权值矩阵的基础上构造像素点满足特定斜率要求的权值矩阵,两点斜率在45°～135° 2个像素点间的权值为1,在此范围之外的权值为0,构造无向带权图后进行归一化分割。最后利用此算法对30株立木图片在MATLAB 2015环境下进行仿真试验,结果显示立木边缘的平均误提取率为1.21%,小于森林资源清查1.5%的误差要求。

关键词:立木图像;权值矩阵;归一化;边缘识别

中图分类号:S758.1　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1001-7461(2018)03-0232-06

Edge Recognition Technology of Livieng Trees Based on Improved Normalized Cut

E Xue,CHENG Peng-le*

(*College of Engineering,Beijing Forestry University,Beijing* 100083,*China*)

Abstract:The DBH is an important basis for evaluating the growth status of trees. In this paper,the automatic measurement of the *DBH* was achieved by the method of machine vision detection. In order to quickly and accurately identify the edge of the wood,according to the characteristics of the images,this paper presented a specific direction of the normalized segmentation method. Preprocessing used a bilateral filter with edge preserving function to filter the image of the wood,and used the local mean method to perform certain pixel reduction processing. We focused on constructing the weight matrix of pixels to satisfy the specific slope requirement on the basis of the traditional weight matrix. The slope of two pixels was 1 in the specified range,and the weight outside this range was 0,an undirected weighted graph was constructed and the segmentation was normalized. Finally,the algorithm was used to simulate 30 trees in MATLAB 2015 environment. The results showed that the average error rate was 1.21% on the edge of the standing tree,1.5% less than the requirements on forest inventory.

Key words:tree image; weight matrix; normalization; edge recognition

立木的胸径是森林资源调查中最为重要的测量因子[1],不同胸径的木材有不同用途,如交通工具、建筑材料、燃烧材料等,对立木胸径的测量至关重要。传统接触式的人工测量如轮尺、直径卷尺、钩尺费时费力,并具有一定的危险性[2],而机器视觉系统则可以提供一种非接触式的立木胸径测量方法[3]。如中南林业科技大学研制的林业数字式测径仪利用机械原理实现胸径的测量[4],北京林业大学测绘与3S技术中心研制的电子测树仪[5],超站仪等设备进行森林计测[6],但国内研制的仪器精度不高,不方便携带,操作困难。本研究提出一种融合激光和机器视觉的立木胸径检测方法,采用激光光斑对立木进行标定,然

收稿日期:2017-05-20　**修回日期**:2017-11-23

基金项目:国家自然科学基金(31200431)。

作者简介:鄂　雪,女,硕士,研究方向:机器视觉技术。E-mail:1804391876@qq.com

* **通信作者**:程朋乐,男,博士,副教授,硕士生导师,研究方向:林业信息测量技术。E-mail:chengpengle@bjfu.edu.cn

后利用图像处理技术对摄拍的立木进行边缘提取,提取的关键是立木图像的分割,传统的图像分割方法包括阈值分割、区域分割和基于边缘的分割方法[7]。近年来,随着新理论和新方法的提出,学者们提出了许多结合一些特定理论、工具和方法的图像分割技术,如白雪冰[8]等对彩色树木的分割及其他神经网络[9]、免疫算法[10]和图论[11]等技术。但它们可以分割某一类的图像,缺少通用性,并在分割效果上存在一定的过分割或欠分割现象。本研究针对立木图像的特点,采用改进的归一化方法分割立木图像。

1　测量系统组成

图 1 为测量系统示意图,由数码相机、光学镜头、扩束激光光源、三脚架、云台等组成,其中激光光束作为检测系统的标尺,利用量程为 0～600 mm 的游标卡尺进行精度验证。在图像处理时,光线太强或太暗都不利于立木边缘的提取,用 LED 照度计控制光照强度在 10 000～40 000 lx。采集图片时激光发射器和数码相机安装在云台立柱上,通过水平仪器保持设备水平,云台立柱与云台垂直安装后固定在三脚架上,通过控制三脚架调节镜头高度。此次试验采集胸径在 15～25 cm 的立木图片,图像像素为 2 592×1 944。拍摄图片时利用系统使数码相机镜头与地面保持水平,镜头与地面的距离大约为 1.3 m。所用算法在 MATLAB 2015 环境下运行,首先对原始图片进行预处理和图像分割,然后识别图片中激光光斑的圆心,记录此时坐标,以标尺的圆心为中心左右遍历灰度值明显变化时的坐标,此坐标为激光光斑边缘所在坐标系的坐标值;接着遍历灰度值明显变化时的坐标,此坐标为立木边缘所在坐标系的横坐标,立木树干和树干上的激光光斑位于同一平面上,与图片采集系统的水平距离也相同,并且成像时焦距也一样,所以放大倍数保持不变,已知激光光斑的实际尺寸为 50 mm,由比例关系可得立木的胸径值,此值的准确性与图像的分割效果密切相关。

图 1　测量系统

Fig. 1　Measuring device

2　立木图像分割

2.1　预处理

在图像采集时,由于光照不均匀、阴影和传播路径等因素导致图像质量的退化很不利于图像的分析处理,所以要对图像进行平滑滤波处理,本研究选用具有保边去噪功能的双边滤波器对立木图像滤波;又因所采用的归一化分割要求高内存,所以在此基础上用局部均值法进行一定的像素减少处理,克服计算量大的缺点。

2.1.1　*双边滤波*　双边滤波器是一种非线性滤波器,它是根据滤波像素点邻近像素的加权平均和灰度差异来实现滤波。它的加权系数由 2 部分组成,通过像素之间的距离确定的称为空间域滤波核函数,灰度滤波核函数是通过像素间的灰度值之差确定的。

双边滤波器在对原图像进行平滑处理的同时很好地保护了边缘信息。滤波后每个像素的灰度值即是其邻域像素的加权平均,邻域像素的加权系数即是空间邻近度因子与灰度相似度因子的乘积[12]。这样只有空间距离近和灰度值差异不大的邻域像素对滤波结果有比较大的影响。

假设图像 I 在坐标点 $p=(x,y)$ 的灰度值是 I_p,滤波后的图像在坐标点 p 的灰度值定义为 BI_p,双边滤波的公式为[13]:

$$BI_p=\frac{1}{W_p}\sum_{q\in S}G_{\sigma_s}(\|p-q\|)G_{\sigma_r}(|I_p-I_q|)I_q \quad (1)$$

式中,$q=(u,v)$ 为中心像素 p 的邻域像素点,S 为邻域像素点的集合,W_p 为归一化因子,G_{σ_s} 为空间邻近度因子,G_{σ_r} 为灰度相似度因子。σ_s 是基于高斯函数的距离标准差,σ_r 是基于高斯函数的灰度标准差,均为可选择的参数,不同的参数表现了双边滤波器不同的性能,通过控制像素的空间位置和灰度变化来调节像素的加权值。

2.1.2　*局部均值法缩小图像*　设原图像的像素大小为 $W\times H$,将其缩小为 $(k_1\times W)\times(k_2\times H)$,则采样区间为:

$$ii=1/k_1;jj=1/k_2 \quad (2)$$

式中,ii 为像素点 i 与 i 之间的距离,jj 同理,式中 $k_1<1$ 且 $k_2<1$,当 $k_1=k_2$ 时为等比例缩小;当 $k_1\neq k_2$ 时为不等比例缩小。设原图为 $F(x,y)$,$(x=1,2,\cdots,i,\cdots W;y=1,2,\cdots,j,\cdots H)$,缩小的图像为 $G(x,y)(x=1,2,\cdots,i,\cdots M;y=1,2,\cdots,j,\cdots N)$ 其中 $M=k_1\times W$,$N=K_2\times H$,则有原图像局部子块为:

$$f'(x,y)=\begin{bmatrix} f(ii\times i,jj\times j) & \cdots & f(ii\times i,jj\times j+jj-1) \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ f(ii\times i+ii-1,jj\times j) & \cdots & f(ii\times i+ii-1,jj\times j+jj-1) \end{bmatrix} \tag{3}$$

缩小后的图像 $G(x,y)$ 为 $f'(x,y)$ 的均值。

2.2 改进 Ncut 分割算法

2.2.1 图论基础 设 1 幅图像有 n 个顶点，m 条边，构造无向带权图 $G=(V,E,W)$，其中 V 是顶点 $(v_1,v_2,\cdots,v_i,\cdots,v_n)$ 的集合，E 是边 $(e_1,e_2,\cdots,v_m)$ 的集合，W 为图的权值矩阵，w_{ij} 是图中连接 2 顶点 i、j 的权值，它反映了顶点 i、j 的相似程度。假设图 G 分为子图 A 和 B，且 $A\cup B=V$，$A\cap B=\varnothing$，则连接子图 A 和 B 的所有边的集合称为图的割集，连接子图 A 和 B 的两条边 e_1 和 e_2 就是图 G 的割集，把割集上的权值之和称为割(cut)，即：

$$cut(A,B)=\sum_{u\in A,v\in B} w(u,v) \tag{4}$$

2.2.2 权值矩阵的构建 本研究的目的是精确有效地提取标尺和立木边缘，标尺采用高亮度的激光光束，成像清晰，与背景的灰度值差别大，容易提取，所以立木边缘的提取是关键。针对立木图像的特点，本研究采用改进的归一化分割方法，在传统权值矩阵的基础上给出了新的定义。

2 个像素用边连接起来后，每个边需要赋一个权值表示像素之间的相似性和差异性，包括图像的颜色、亮度、距离、纹理等方面的信息。传统权值计算函数如下[14]：

$$w_{ij}=e^{\frac{-\|I(i)-I(j)\|_2^2}{\sigma_I}} * \begin{cases} e^{\frac{-\|X(i)-X(j)\|_2^2}{\sigma_X}}, & \|X(i)-X(j)\|_2<r \\ 0, & otherwise \end{cases} \tag{5}$$

式中，$I(i)$ 为节点 v_i 处所表示的像素的灰度、颜色或纹理信息的特征向量。$X(i)$ 为节点 v_i 的空间位置。σ_I 和 σ_X 为调节参数。r 为 2 像素之间的有效距离。$\|\cdot\|_2$ 表示向量范数，即 2－范数，指 2 像素之间的距离。由公式可知，若 2 像素之间距离 $>r$，相似度为 0，也就是距离 $>r$ 的 2 像素之间没有边连接。

归一化分割直接作用立木图像的像素点，计算量大，内存要求高，为了简化算法，本研究在传统权值矩阵的基础上进行了改进。

设有 9 个节点的图像(图 2)，节点矩阵 $V=(v_1,v_2,\cdots V_9)$，存在边的条数 $\frac{(n-1)n}{2}=\frac{(9-1)\times 9}{2}=36$，则边的集合 $E=(e_1,e_2,\cdots v_{36})$。由于大部分立木与地面垂直生长，只有少数树木常年受到风沙、光照不均的影响会有一定的倾斜，所以在处理图像时只计算斜率在 45°～135° 的像素点，设像素点 (x_1,y_1) 和 (x_2,y_2) 的斜率 $k_{ij}=\frac{y_j-y_i}{x_j-x_i}$，权值矩阵为：

$$w_{ij}^{II}=\begin{cases} 1, & \frac{\pi}{4}\leqslant k_{ij}\leqslant\frac{3\pi}{4} \\ 0, & otherwise \end{cases} \tag{6}$$

9 个像素点的权值见表 1，可看出表中数值呈对称分布，对角线数字为 1，这是因为选用的是无向图，对角线为同一像素点，在 36 条边中，权值为 1 的边有 23 条，为 0 的边有 13 条，计算量减少了 $\frac{13}{36}\times 100\%=36\%$，当取不同像素的图像时，此计算值不同。

结合像素的特征和方向最终定义像素点 i 和 j 权值矩阵 w_{ij} 为：

$$w_{ij}=w_{ij}^{I}\times w_{ij}^{II} \tag{7}$$

权值矩阵 w_{ij} 避免了非立木边缘像素的计算(图 2)，提高了运行效率。

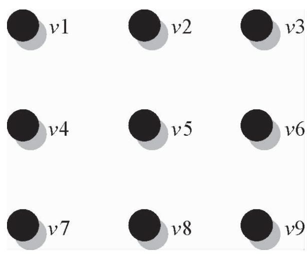

图 2 像素点矩阵

Fig. 2 Pixel matrix

2.2.3 Ncut 算法的求解 当 $\mathrm{cut}(G_1,G_2)$ 最小时，就得到了图 $G=(V,E,W)$ 的最优分割，但是这种最小割准常常会把一些孤立点和小区域分割为一类，特别是当图像中存在噪声时，这种分割就失去了意义。为克服此缺点而提出的归一化分割准则如下：

$$\mathrm{Ncut}(A,B)=\frac{\mathrm{cut}(A,B)}{\mathrm{assoc}(A,V)}+\frac{\mathrm{cut}(A,B)}{\mathrm{assoc}(B,V)} \tag{8}$$

其中，$\mathrm{assoc}(A,V)=\sum_{u\in A,v\in V} w(u,v)$ 表示的是 A 区域内的节点与整幅图节点 V 的权重之和。$\mathrm{Ncut}(A,B)$ 表示类间的相似度，$\mathrm{Ncut}(A,B)$ 值越小，说明两类的类内越相似，分割效果越好。定义 $\mathrm{Nassoc}(A,B)=\frac{\mathrm{assoc}(A,A)}{\mathrm{assoc}(A,V)}+\frac{\mathrm{assoc}(B,B)}{\mathrm{assoc}(B,V)}$ 表示类内的相关度，$\mathrm{Nassoc}(A,B)$ 值越大，说明两类之间的差别越大，分割的效果越好。并且 $\mathrm{Ncut}(A,B)=2-\mathrm{Nassoc}(A,B)$，所以归一化分割准则不仅满足了类内的相似度最大，而且还满足了类间的相似度最小。因

表 1　9 个像素点的权值

Table 1　Weights of 9 pixels

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8	v_9
v_1	1	0	0	1	1	0	1	1	1
v_2	0	1	0	1	1	1	1	1	1
v_3	0	0	1	0	1	1	1	1	1
v_4	1	1	0	1	0	0	1	1	0
v_5	1	1	1	0	1	0	1	1	1
v_6	0	1	1	0	0	1	0	1	1
v_7	1	1	1	1	1	0	1	0	0
v_8	1	1	1	1	1	1	0	1	0
v_9	1	1	1	0	1	1	0	0	1

此,与最小分割准则相比,归一化分割准则更加贴近于聚类的思想。

令 W 为 $N\times N$ 的对称矩阵,其元素值 $W(i,j)=w(i,j)$,D 为 $N\times N$ 角矩阵,则有 $\mathrm{Ncut}(A,B)=\dfrac{y^T(D-W)y}{y^TDy}$,求解 $\mathrm{Ncut}(A,B)$的最小值,就变为求解$\dfrac{y^T(D-W)y}{y^TDy}$的最小值,进一步转化为求解特征系统$(D-W)y=\lambda Dy$ 的特征值和与其相对应的特征向量,利用 K-means 算法对上一步骤中的特征向量进行聚类,最终得到分割结果。

图 3 是本算法整体框架图,主要是基于归一化割算法对像素点的分割,内存要求高,对噪声敏感,分割出的立木图像可能会造成其过分割和欠分割,所以对原图像先进行双边滤波处理,去除多余边缘和噪声,再通过局部均值法改变图像的大小和方向,使归一化割在构造权值矩阵上更加简单,提高分割时间。

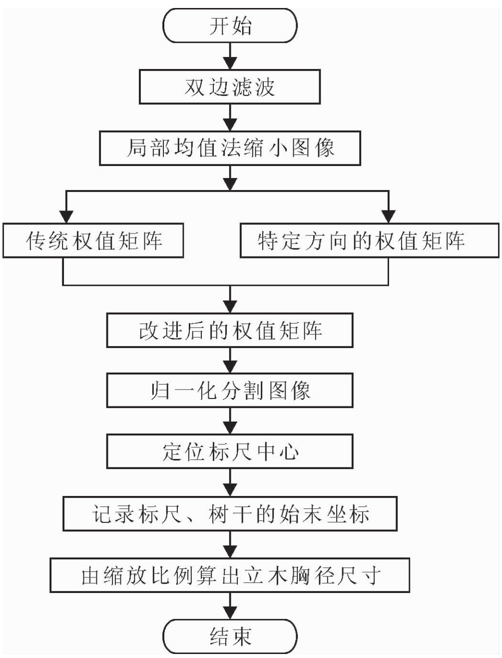

图 3　归一化分割流程

Fig. 3　Normalized segmentation flow chart

3　结果与分析

因为不同环境下采集到的立木图像不同,所以按立木背景条件,将立木图像分为 3 类分析。新算法在几种立木图像上进行分割试验,并把结果列表分析,归纳 Normalized Cut 方法适用于何种立木图像,探讨 Normalized Cut 算法在立木图像分割领域的可行性。本试验采集的树木包含各种可能出现的情况,具有普遍性。树木拍摄距离在 10 m 左右,取立木 1.3 m 处的胸径部位,此部位可利用拍摄系统控制。

3.1　简单立木

图 4 为单株立木图像分割结果,其目标和背景有很强的区分度,轮廓比较清晰。图 4a 是用检测系统采集的彩色图像,利用算法自动定位激光部位,以激光为中心取 360×210 的切割片(图 4b),又因为拍摄图片受天气的影响具有一定的噪声,本研究采用具有保边去噪功能的双边滤波器处理,增强图片的区分度,结果见图 4c,在此基础上采用局部均值法对图像进行像素减少处理,使原图像的长宽都缩小 1/2,克服了归一化割算法要求高内存,计算量大的缺点。图 4e 为改进后的归一化分割结果,该算法有效地提取了所需信息,达到了想要的结果。

3.2　相互重叠的立木

图 5a 为相互重叠的立木图像,立木表面纹理清晰,两根立木有一定的区分度,边缘平滑不存在尖锐部分,背景相对简单。对于这类立木图像,处理好接连部分并精确找到所测立木边缘是关键,经去噪和尺度变化后得到图 5d 的立木图像,采用结合特定方向的归一化分割结果见图 5e。对于多棵立木相互重叠的图像,只要识别出激光光斑所在水平线的立木边缘,分割结果便可达到要求。

3.3　背景复杂的立木

在采集图片的过程中尽量避免背景复杂的情况,但在实际应用中,自然环境无法控制,这种现象不可

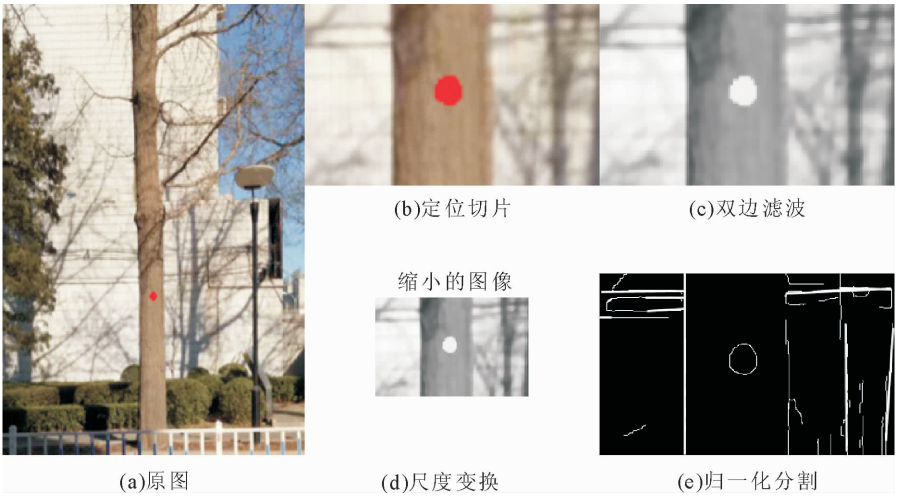

图 4 简单立木处理结果

Fig. 4 Simple stand processing results

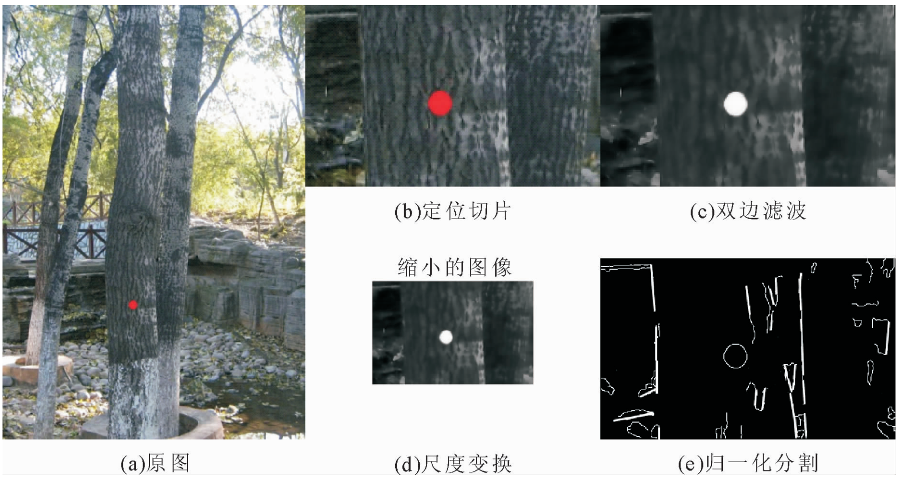

图 5 重叠立木处理结果

Fig. 5 Overlapping wood processing results

避免,这就需要我们采用有效的算法提取有用信息。本算法在识别过程中首先识别的是激光光斑的位置,由于激光亮度极高,即使在较强光照下也能清楚成像,找到光斑位置,只需提取以光斑为中心,截取像素大小为 360×210 的长方形切片,降低了算法的复杂度。由图 6 可见,立木和背景的灰度值很接近,在处理时很容易将有用信息和背景混淆,给边缘提取带来了困难。图 6e 为本研究所提算法的分割结果,它基本达到要求,但存在一定的欠分割现象。

为了验证本研究所提算法对立木图像分割的有效性,对采集的 30 幅立木彩色图像进行分割,统计的误提取率见表 2。将误提取率定义为[15]:

$$c=\frac{|d-t|}{t}\times 100\% \tag{9}$$

式中,c 为误提取率,d 是提取的立木胸径,t 是实际的立木胸径。立木胸径的平均误提取率为 1.21%,即正确的分割率为 98.79%,满足现今对于精准林业的要求,可以替代传统的接触式胸径测量方法。

表 2 立木边缘提取结果

Table 2 Timber edge extraction results %

序号	误提取率	序号	误提取率	序号	误提取率
1	1.23	11	1.20	21	1.34
2	1.19	12	1.32	22	1.24
3	1.26	13	1.21	23	1.35
4	1.15	14	1.10	24	1.21
5	1.12	15	1.11	25	1.23
6	1.22	16	1.21	26	1.14
7	1.24	17	1.26	27	1.25
8	1.15	18	1.13	28	1.23
9	1.22	19	1.18	29	1.20
10	1.32	20	1.24	30	1.17

4 结论与讨论

改进后的归一化图像分割算法解决了传统算法空间需求大、处理速度慢的缺陷,提高了立木边缘检测的效率;通过对简单立木、立木重叠和背景复杂的立木边缘的提取,立木胸径的平均误提取率为

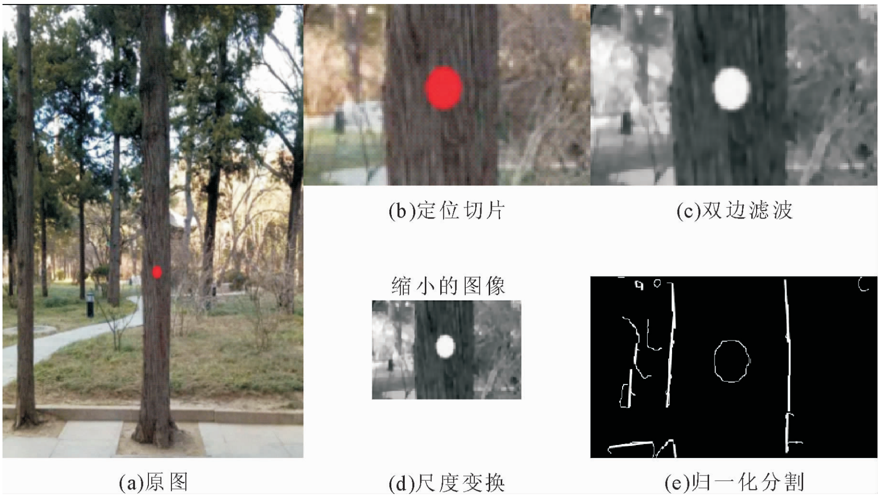

图 6　复杂立木处理结果

Fig. 6　Complex processing results

1.21%,即正确的分割率为 98.79%,可以达到要求,其中背景越简单,提取的速度越快,准确率越高。本研究采用具有高亮度特性的激光作为标尺,消除自然环境的光照强度对本测量方法的影响,采用双边滤波和局部均值法的预处理,使原图像计算更加简单,对光照变化不明显。由于本方法是对图像集体采集后,再在计算机上解算分析,这就不能实时得到立木边缘信息,在以后的研究中可以和其他设备共同工作,使本方法更加智能化。在背景复杂的情况下,本算法不能识别整体立木边缘,存在欠分割现象,这仍是需要解决的问题。

参考文献:

[1]　冯仲科,赵春江,聂玉藻,等.精准林业[M].北京:中国林业出版社,2002.

[2]　孟宪宇.测树学[M].北京:中国林业出版社,1998.

[3]　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 P L, LIU J H, WANG D. Measuring diameters at breast height using combination method of laser and machine vision[J]. Transactions of the CSAM,2013,44(11):271-275. (in Chinese)

[4]　鄢前飞.林业数字式测径仪的研制[J].中南林业科技大学学报:自然科学版,2008,28(2):95-99.
YAN Q F. Development of forestry digital measurer of diameter[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology:Natural Science Edition,2008,28(2):95-99. (in Chinese)

[5]　吴小平,岳德鹏,陈金星,等.RD1000 电子测树仪立木因子测定及适用性研究[J].西北林学院学报 2016,31(2):219-224.
WU X P, YUE D P, CHEN J X, *et al*. Measurement of stumpage factors and its applicability of the RD1000[J]. Journal of Northwest Forestry University,2016,31(2):219-224. (in Chinese)

[6]　冯仲科,王佳.一种测树型超站仪及其使用方法:102466476A[P].2012-05-23.

[7]　许新征,丁世飞,贾伟宽,等.图像分割的新理论和新方法[J].电子学报,2010,38(Supp.1):76-82.
XU X Z, DING S F, JIA W K, *et al*. New theories and methods of image segmentation[J]. Acta Electronic Asinica,2010,38(Supp.1):76-82. (in Chinese)

[8]　白雪冰,郭景秋,陈凯,等。结合 C-V 模型水平集与形态学的彩色树木图像分割[J].西北林学院学报 2015,30(2):196-200.
BAI X B, GUO J Q, CHEN K, *et al*. Color tree image segmentation method integrating a set of C-V plane models with morphological processing[J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(2):196-200. (in Chinese)

[9]　柳皓笛,李文彬,阚江明.基于神经网络的立木枝干测量方法研究[J].湖南农业科学,2009,120(3):115-117.

[10]　薄华,马缚龙,焦李成.基于免疫算法的 SAR 图像分割方法研究[J].电子与信息学报,2007,29(2):375-378.
BO H, MA F L, JIAO L C. Research on immune algorithm based method for SAR image segmentation[J]. Journal of Electronics & Information Technology,2007,29(2):375-378. (in Chinese)

[11]　刘建龙.基于图论的图像分割算法研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2006.

[12]　李俊峰.双边滤波算法的快速实现及其在图像处理的应用[D].广州:南方医科大学,2013.

[13]　李俊峰,杨丰,黄靖.一种改进的增维型双边滤波的快速算法[J]:电路与系统学报,2013,18(1):137-143.
LI J F, YANG F, HUANG J. A fast implementation of improved bilateral filter based on ascending dimension[J]. Journal of Circuits and Systems,2013,18(1):137-143. (in Chinese)

[14]　张丽.基于改进归一化割的甲状腺肿瘤 B 超图像分割[D].石家庄:河北大学,2013.

[15]　GEORGE E M, NETO J C. Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications[J]. Computer and Electronics in Agriculture,2008,63(2):282-293.