高分辨率棉花异性纤维彩色图像的快速分割方法*

张　馨[1]　李道亮[2]　杨文柱[2]　王金星[1]　刘双喜[1]

(1. 山东农业大学机械与电子工程学院, 泰安 271018; 2. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

【摘要】 针对传统的图像分割方法较难分割棉花异性纤维的问题,提出了一种高分辨率棉花异性纤维彩色图像的快速分割方法。该方法通过改进的数学形态学的边缘检测方法得到灰度梯度图,再选取迭代过程中的最佳经验值得到最佳分割阈值,从而实现了灰度梯度图的分割。实验结果表明,该方法可以直接对高分辨率棉花异性纤维彩色图像进行分割,且分割效果较好,并使此环节的计算速度提高 2 倍以上。

关键词: 棉花　异性纤维　高分辨率　形态学　图像分割

中图分类号: TP391.41　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2011)01-0159-06

Fast Segmentation of High-resolution Color Images of Cotton Foreign Fibers

Zhang Xin[1]　Li Daoliang[2]　Yang Wenzhu[2]　Wang Jinxing[1]　Liu Shuangxi[1]

(1. *College of Mechanical and Electronic Engineering*, *Shandong Agricultural University*, *Taian* 271018, *China*

2. *College of Information and Electrical Engineering*, *China Agricultural University*, *Beijing* 100083, *China*)

Abstract

A fast segmentation method for high-resolution color images of cotton foreign fibers was proposed. It detected the edge of color image by using edge detection method based on improved mathematical morphology. A color image was converted into a gradient map in the first step, and the best threshold of the gradient map was chosen by selecting the best experience value iteratively. The experimental results indicated that the proposed method could segment the high-resolution color images of cotton foreign fibers directly and precisely, and the speed of image processing increased more than two times than the traditional methods.

Key words　Cotton, Foreign fibers, High-resolution, Morphology, Image segmentation

引言

棉花中的异性纤维是指在原棉生产、加工和流通过程中混入棉花中的对棉花及其制品质量有严重影响的非棉纤维和有色纤维。基于机器视觉的异性纤维检测,不但提高了工作效率,并在很大程度上提高了异性纤维的检出率[1]。

棉花异性纤维图像的分割属于图像分割领域中较为困难的一种,由于棉层厚薄不均匀,棉花异性纤维颜色和形状各异,导致传统的图像分割方法在分割棉花异性纤维图像时差别较大[2]。同时由于异性纤维的种类繁多,一些细小的异性纤维,则需要采用高分辨率相机进行图像采集,其直接后果就是导致单幅图像的数据量较大。对高分辨率棉花异性纤维图像的分割的研究尚属空白。

本文将改进的数学形态学的边缘检测方法运用到彩色图像中,利用形态学在图像边缘检测上的优势,同时也充分利用图像的色彩信息[3],并采用迭代阈值分割方法对检测后的棉花异性纤维灰度梯度图进行分割,通过比较几种传统分割方法的精度和速度,找出最佳方案。

收稿日期: 2010-04-09　修回日期: 2010-05-13

*国家自然科学基金资助项目(30971693)和教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-09-0731)

作者简介: 张馨,硕士生,主要从事图像处理和模式识别研究,E-mail: zx19831101@163.com

通讯作者: 王金星,副教授,主要从事精密工程与科学仪器研究,E-mail: jinxingw@163.com

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验共选择了羽毛、头发、有色棉布条、麻绳、塑料片、丙纶丝、有色线 7 种典型异性纤维,并选择了足量的不含异性纤维的皮棉,利用皮棉开松机对皮棉进行充分开松,形成 40 cm 宽、2 mm 厚的不间断均匀棉层,并在开松过程中逐次放入上述异性纤维样本,得到混有异性纤维的棉层。对产生的棉层进行图像采集,共得到了 1 000 幅 4 000 × 500 像素 的 24 位真彩色异性纤维图像。由于获得图像太大,且目标较小,因此本文所有图像均为裁剪后的目标图像。

实验选用 DALSA PC -30 型工业 3 -CCD 高速线扫描彩色相机一台,分辨率为 4 096 像素/ 线,配备 LED 线阵白光源,图像采集卡采用相机配置的采集卡,该卡基于 Camera Link 总线。

开松后的棉花异性纤维形状大致可以分为 3 大类:①丝类异性纤维,如头发。②条类异性纤维,如羽毛,丙纶丝,有色棉布条、麻绳、有色线。③片类异性纤维,如塑料片。

1.2 图像分割方法

1.2.1 图像分割方法的选择

对于在线视觉检测系统,算法的快速性和准确性是关键因素。因此,在保证分割精度要求的前提下,应尽量选择分割速度快的算法。边缘检测是所有基于边界分割方法的第一步,基于边缘检测的方法是利用不同区域间像素灰度不连续的特点检测出区域间的边缘,从而实现图像分割[4]。形态学边缘检测在进行图像处理时,充分考虑到了图像的结构特征,且计算量小,实现简单,性能稳定,因此相对于其他图像处理方法而言,形态学方法具有独特的结构特征优势,且提高了计算速度。

在大部分图像处理领域中,分割结果的好坏都是以处理后的速度和精度相对均衡而言的。为此,本文对传统分割方法和本文方法在速度和精度上进行比较,获得最佳结果。

1.2.2 数学形态学边缘检测原理

数学形态学的基本原理是将二值图像看成集合,并用结构元素来探察。在形态学中,结构元素是最重要最基本的概念,构造不同的结构元素便可完成不同的图像分析。膨胀和腐蚀运算是形态学图像处理的基础,两者不互为逆运算,所以它们可以级联使用。本文将两者结合起来,达到较好的处理效果。

令 $f(x,y)$ 为属于 $L^2(R)$ 紧支的灰度函数,$g(i,j)$ 为结构元素的灰度函数;灰度函数 $f(x,y)$ 的膨胀和腐蚀定义如下:

膨胀定义

$$f\oplus g(x,y)=\max_{(i,j)}\{f(x-i,y-j)+g(i,j)\} \tag{1}$$

腐蚀定义

$$f\Theta g(x,y)=\min_{(i,j)}\{f(x+i,y+j)+g(i,j)\} \tag{2}$$

为使计算方便,常取结构元素的灰度值为 0,即 $g(i,j)=0$,因此采用膨胀运算,则边缘检测算子为

$$\begin{aligned}G_d(x,y)&=f(x,y)\oplus g(i,j)-f(x,y)=\\&\max_{(i,j)}\{f(x-i,y-j)-f(x,y)\}=\\&\max_{(i,j)}\{f(i,j)-f(x,y)\}\end{aligned} \tag{3}$$

若采用腐蚀运算,则边缘检测算子为

$$\begin{aligned}G_e(x,y)&=f(x,y)-f(x,y)\Theta g(i,j)=\\&\max_{(i,j)}\{f(x,y)-f(x-i,y-j)\}=\\&\max_{(i,j)}\{f(x,y)-f(i,j)\}\end{aligned} \tag{4}$$

利用形态学梯度进行边缘检测,则边缘检测算子为

$$\mathrm{grad}(f)=f\oplus g-f\Theta g \tag{5}$$

1.2.3 改进的形态学边缘检测方法

实验所采集的彩色图像都是以 RGB 方式存储和表达的。用 R、G、B 3 个颜色通道表示,比单独一个颜色通道能提供更多的信息,可以使边缘特征定位在能最佳反映图像结构的位置上。

实验结果由 PC 机完成,编程软件为 Matlab 7.0。运行环境:Inter Core2,PC 机主频 3.06 GHz,2 GB内存,分辨率为 1 440 × 900 像素。蓝色丙纶丝原彩色图像及其各通道检测结果如图 1 所示,从图中可以看出,由于 R、G、B 3 个颜色通道分布不一样,各个通道得到的边缘特征位置并不是位于同一个位置。实际处理过程中,需要直接得到彩色图像的边缘位置,这样,可以直接有效地减少计算时间和解决后续的融合处理难题。

考虑到 I 值基于 RGB 空间计算得出,I 为像素点的灰度值。类似于灰度图像的边缘检测算子,因此分别对 R、G、B 3 幅伪灰度图像进行边缘检测,各通道检测结果如下

$$\mathrm{grad}(f_R)=f_R\oplus g-f_R\Theta g \tag{6}$$

$$\mathrm{grad}(f_G)=f_G\oplus g-f_G\Theta g \tag{7}$$

$$\mathrm{grad}(f_B)=f_B\oplus g-f_B\Theta g \tag{8}$$

式中 $\mathrm{grad}(f_R)$——R 伪灰度图像边缘检测得到的边缘强度

$\mathrm{grad}(f_G)$——G 伪灰度图像边缘检测得到的边缘强度

$\mathrm{grad}(f_B)$——B 伪灰度图像边缘检测得到的边缘强度

f_R、f_G、f_B——R、G、B 分量

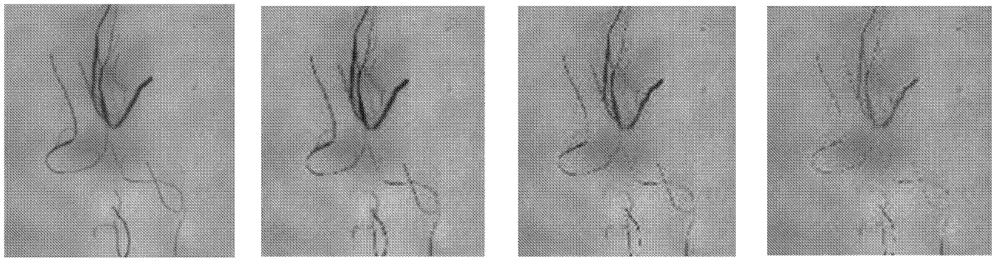

图 1　蓝色丙纶丝彩色图像与各通道检测结果

Fig. 1　Image of blue polypropylene and its detected results of each channel

(a) 原彩色图像　(b) R 通道　(c) G 通道　(d) B 通道

g ——结构元素

鉴于以往基于 3 通道边缘强度的平均值作为综合边缘检测算子,不适合棉花异性纤维图像的特点,本文采用 R、G、B 3 通道边缘强度平方和的算术平方根作为改进的综合边缘检测算子,克服了以往检测算子对于高分辨率棉花异性纤维图像检测效果不好的问题。此改进的综合边缘检测算子表达式为

$$\mathrm{grad}(f) = \sqrt{\mathrm{grad}^2(f_R) + \mathrm{grad}^2(f_G) + \mathrm{grad}^2(f_B)} \tag{9}$$

式中　$\mathrm{grad}(f)$——综合得到的棉花异性纤维彩色图像边缘强度

形态学的结构元素是膨胀和腐蚀操作的最基本组成部分,用于测试输入图像。通过大量实验测试和分析比较,并根据棉花异性纤维彩色图像特点,本文提出采用 diamond(菱形)结构元素,如图 2 所示,其中 * 为中心像素,□为其有效的邻域像素。

如果 $\mathrm{grad}(f)$ 大于给定的阈值,则该像素点为得到的边缘像素点。

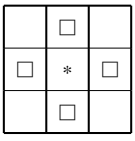

图 2　结构元素图

Fig. 2　Image of structuring element

1.2.4　迭代法选择最佳阈值

棉花异性纤维的识别属于实时监测工作,在不同的环境下会有不同的光照强度。因此对于异性纤维的目标分割无法通过一个固定的阈值来进行。针对这种情况,对以上形态学边缘检测得到的灰度梯度图进行阈值的选择,本文采用迭代法自动求此最佳阈值。

阈值化分割是图像分割中应用最多的一类方法。阈值化分割算法有直方图双峰法(mode)[5]、最大类间方差法(Otsu)[6]和迭代式阈值法[7]等。其中直方图双峰法用于某些简单图像,其图像的直方图出现 2 个分离的峰值,可以选择 2 个波峰间的波谷所对应的灰度值作为分割阈值。

迭代式阈值法是对直方图双峰法的改进,是一个自动选取阈值的过程。具体步骤如下:

(1)通过上述形态学的边缘检测法得到棉花异性纤维灰度梯度图,求此梯度图中的最小灰度值 Z_1 和最大灰度值 Z_k,令阈值初值

$$T^0 = \frac{Z_1 + Z_k}{2} \tag{10}$$

(2)根据阈值 T^k 将灰度梯度图分割成目标和背景两部分,求出目标平均灰度值和背景平均灰度值分别为

$$Z_0 = \frac{\sum_{z(i,j) < T^k} z(i,j)N(i,j)}{\sum_{z(i,j) < T^k} N(i,j)} \tag{11}$$

$$Z_B = \frac{\sum_{z(i,j) > T^k} z(i,j)N(i,j)}{\sum_{z(i,j) > T^k} N(i,j)} \tag{12}$$

式中　$z(i,j)$——灰度梯度图像上(i,j)点的灰度值

$N(i,j)$——(i,j)点的权重系数,$N(i,j) = 1.0$

(3)求出适应棉花异性纤维的新阈值

$$T^{k+1} = n(Z_0 + Z_B) \tag{13}$$

传统的迭代阈值法对 n 的取值是 0.5,但此值并不适合棉花异性纤维图像,因此本文对 n 的选取采用经验值法。为使范围差尽可能的增大,首先将 n 的取值范围定为 0.1 ~ 0.9 之间。表 1 ~ 3 分别是丝类异性纤维头发、条类异性纤维羽毛和片类异性纤维塑料片最终迭代阈值 T_{next} 和前一次阈值 T 比较的结果。

从表 1 ~ 3 结果表明,当 n 的取值在 0.3 ~ 0.9 之间时,无论是丝类、条类和片类异性纤维的前一次阈值 T 均相等,即仅当 $n < 0.3$ 时,T 的取值开始明显变化,由此,$n = 0.2$ 是阈值选取的一个突变点。以下用图像的直观形式验证此经验值。

丝类异性纤维头发、条类异性纤维羽毛和片类异性纤维塑料片的典型图像如图 3 所示。经验值的取值范围是 0.1 ~ 0.5,步长为 0.1,取值效果如图 3 所示。

表 1 头发实验结果对比分析

Tab. 1 Comparison of the experimental results of hair

阈值	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
T	0.012 128	0.133 21	0.502 69	0.502 69	0.502 69	0.502 69	0.502 69	0.502 69	0.502 69
T_{next}	0.066 604	0.063 806	0.199 81	0.266 41	0.333 02	0.399 62	0.466 23	0.532 83	0.599 43

表 2 羽毛实验结果对比分析

Tab. 2 Comparison of the experimental results of feather

阈值	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
T	0.066 206	0.132 41	0.510 63	0.510 63	0.510 63	0.510 63	0.510 63	0.510 63	0.510 63
T_{next}	0.020 063	0.075 758	0.198 62	0.264 82	0.331 03	0.397 24	0.463 44	0.529 65	0.595 85

表 3 塑料片实验结果对比分析

Tab. 3 Comparison of the experimental results of plastic films

阈值	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
T	0.065 354	0.130 71	0.485 71	0.485 71	0.485 71	0.485 71	0.485 71	0.485 71	0.485 71
T_{next}	0.013 167	0.073 519	0.196 06	0.261 42	0.326 77	0.392 12	0.457 48	0.522 83	0.588 19

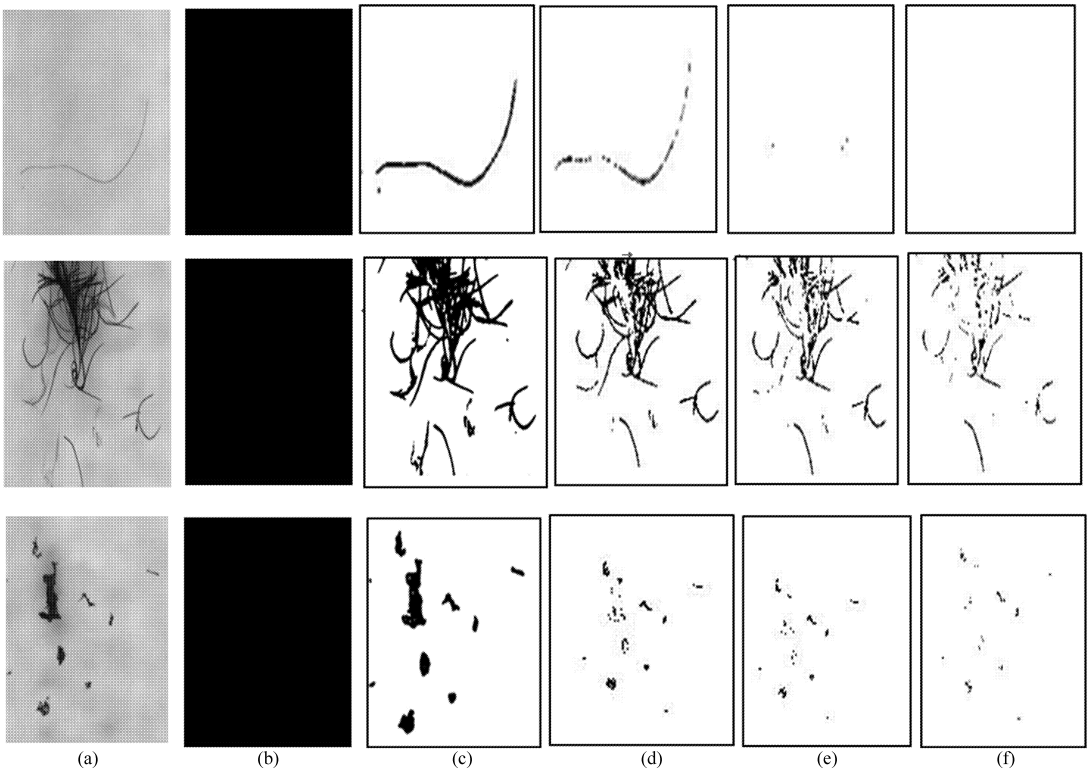

图 3 原彩色图像及其经验值效果图

Fig. 3 Original color images and its effected image

(a) 原彩色图像 (b) $n=0.1$ (c) $n=0.2$ (d) $n=0.3$ (e) $n=0.4$ (f) $n=0.5$

由图 3 可以明显看出,当 $n>0.2$ 时,目标图像的清晰度呈递减趋势,到 $n=0.6\sim0.9$ 时,无论是丝类、条类和片类异性纤维的效果愈加不明显,以至于丝类异性纤维几乎看不到目标图像的存在,为此本文没有列出此取值范围图像。当 $n=0.1$ 时,由于 T_{next} 过小,得到的二值图像几乎全部为黑色。

以上分析结果得出,当 $n=0.2$ 时,阈值的选取适用于大多数异性纤维灰度梯度图,并能够得到最清晰的二值化目标图像,式(13)可以写成

$$T^{k+1}=0.2(Z_0+Z_B)$$

(4)如果 $T^k=T^{k+1}$,则结束,否则令 $K\leftarrow K+1$,转步骤(2)。

2　实验结果和比较分析

2.1　形态学边缘检测结果分析

选择如图 4a 棉花异性纤维蓝色丙纶丝为输入的彩色图像。图 4b 和 4c 分别是 Canny 算子和传统分水岭算法检测出的边缘图像，图 4d 是本文改进的形态学边缘检测算法得到的灰度梯度图。

实验结果表明，Canny 算子检测出的目标异性纤维边缘存在不连续和虚假边缘；分水岭算法直接应用于异性纤维图像导致结果图像中存在严重过分割，以至于无法得到目标图像完整轮廓；从图 4d 可见本文算法能够较准确地检测出目标异性纤维轮廓。

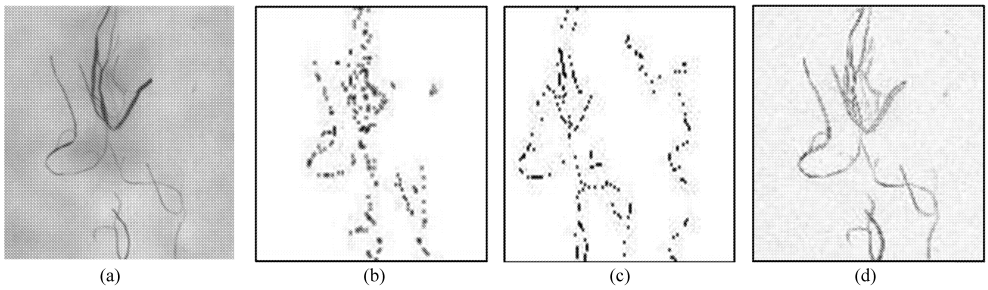

图 4　蓝色丙纶丝彩色图像与各检测算子结果图

Fig. 4　Image of blue polypropylene and its detected image

（a）蓝色丙纶丝彩色图像　（b）Canny 算子　（c）传统分水岭算法　（d）本文算法

2.2　最佳阈值的选择方法分析

获得的棉花异性纤维头发和塑料片彩色图像及其灰度直方图如图 5 所示。从图中可以看出，棉花异性纤维图像直方图由于没有明显的双峰现象，造成异性纤维灰度直方图呈单峰特性的主要原因是异性纤维在皮棉中的含量极少，在采集的图像中目标像素所占的比例微乎其微，因此不能采取双峰法获得阈值。

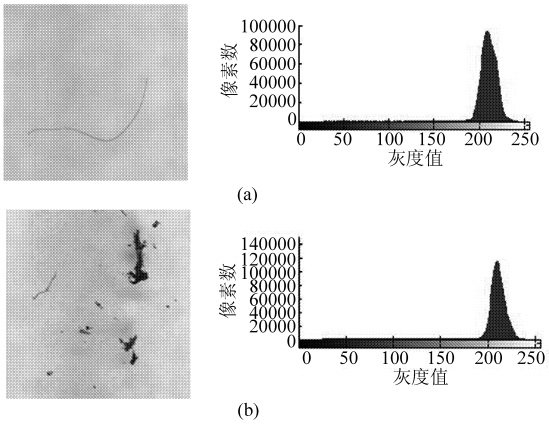

图 5　原彩色图像及其灰度直方图

Fig. 5　Original color images and its histogram

（a）头发彩色图像和灰度直方图

（b）塑料片彩色图像和灰度直方图

Otsu 法算法简单，在灰度图像目标和背景的自动分割上具有广泛的应用价值[8~9]，Otsu 法缺陷是当目标与背景灰度差不明显时，会导致误分割，甚至会丢失整幅图像的信息，棉花异性纤维中麻绳图像的分割就属于这种情况。图 6 为棉花异性纤维麻绳彩色图像及其采用 Otsu 算法的阈值分割效果图。

基于以上实验结果和理论分析，为了解决目标物与背景灰度差不明显时出现丢失图像信息的缺陷，本文对经过形态学边缘检测后得到的灰度梯度图像采用迭代阈值分割法，并通过理论数据得到阈值选取的最佳经验值提取轮廓边缘。对 3 类不同形状的异性纤维中的典型彩色图像、灰度梯度图和采用迭代阈值分割的结果如图 7 所示。

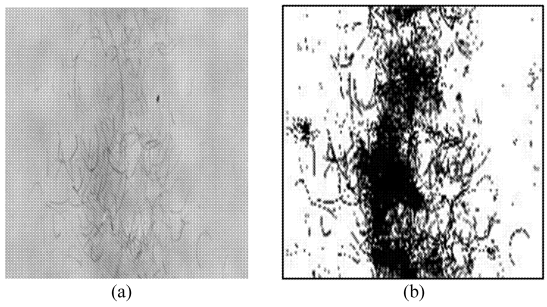

图 6　麻绳彩色图像及其 Otsu 算法分割结果

Fig. 6　Image of hemp rope and its segmented image by Otsu's method

（a）麻绳彩色图像　（b）Otsu 算法阈值分割

实验采用 Matlab 7.0 编程完成，对 1 000 幅异性纤维彩色图像进行了分割实验，结果得出，无论是对异性纤维中丝类、条类和片类图像，只要能够准确看到目标轮廓边缘的图像即为分割完善，这样的图像为 961 幅，占总数的 96.1%。由此可以进一步得出本文算法对异性纤维的分割是有效的，其平均分割率达到了 95% 以上。其中对于头发和塑料片的分割率更高，而麻绳的分割率相对较低。主要是因为片类在整幅图像中所占的比例相对较大，灰度比较集中，因此分割效果较好；麻绳接近于绒状，由于散开的面积较大，厚薄不均匀，目标图像的灰度范围较宽，使背景错分为目标的概率增大，进而影响分割效果。

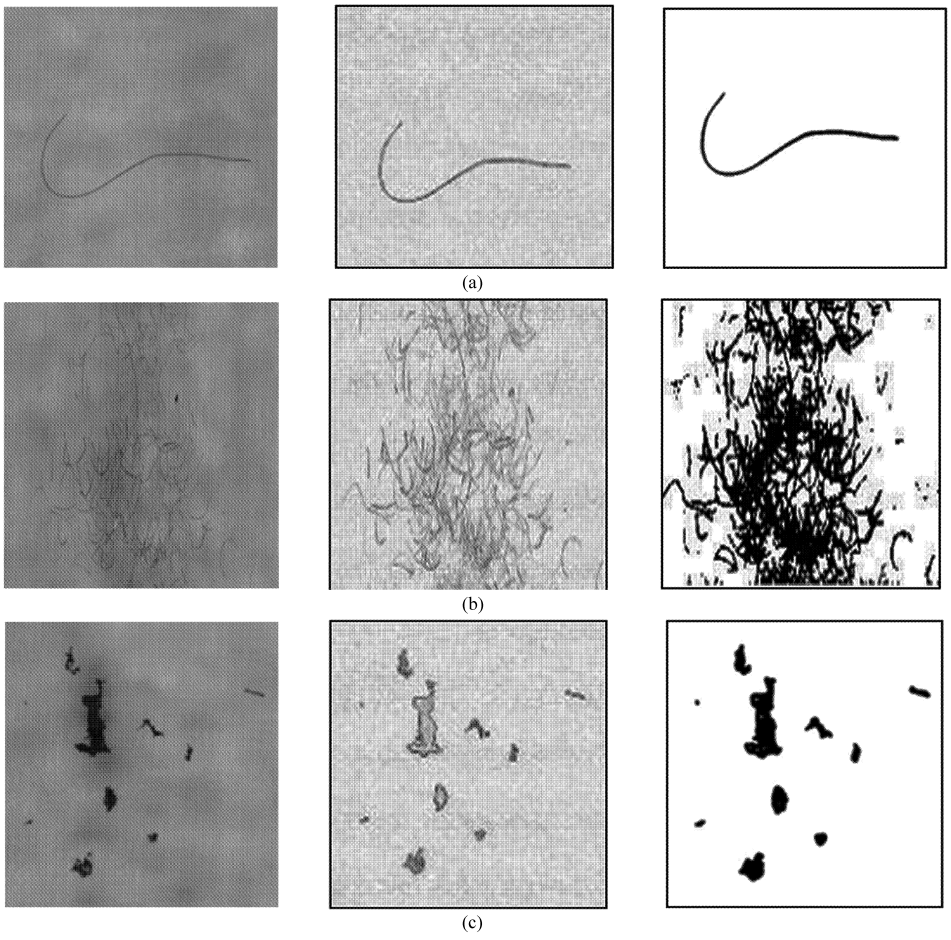

图 7 原彩色图像及其分割结果

Fig. 7 Original color images and its segmented image by iterative threshold method

(a) 头发彩色图像、灰度梯度图和迭代式阈值分割结果 (b) 麻绳彩色图像、灰度梯度图和迭代式阈值分割结果

(c) 塑料片彩色图像、灰度梯度图和迭代式阈值分割结果

2.3 彩色图像分割结果分析

对 1 000 幅样本图像分别采用 Otsu、Canny 和传统分水岭算法进行了对比实验,由实验得出 3 种分割算法处理棉花异性纤维单幅彩色图像的平均时间分别为:0.98、6.34 和 4.89 s。3 种分割算法的平均时间为 4.07 s,本文算法的平均时间为 1.82 s。

Canny 算法和传统分水岭算法对于棉花异性纤维图像的分割明显比本文算法的处理速度慢。Otsu 算法虽然比本文算法速度快,但由于棉花异性纤维种类繁多,样式各异,Otsu 算法对麻绳图像的分割在精度上明显低于本文算法。基于以上分析结果得出,本文算法无论是对丝类、条类和片类的异性纤维均可以得到较好的分割结果,且在处理速度上比传统的分割算法平均快 2 倍以上。

3 结论

(1)采用改进的形态学边缘检测算子对异性纤维图像进行检测。实验证明,该算子能够较精确地得到异性纤维灰度梯度图,克服了以往边缘检测算子对于高分辨率棉花异性纤维图像检测效果差的问题。

(2)分析了异性纤维中丝类、条类和片类图像迭代后的最终阈值与前一次阈值的关系与规律,最终确定了适合大多数异性纤维灰度梯度图迭代算法的经验值,由此得到最清晰的二值图像。

(3)异性纤维图像直接分割结果表明,本文算法对异性纤维图像的分割可以使得在满足分割精度的前提下,速度提高 2 倍以上。

参 考 文 献

1 刘双喜,张馨,王金星,等. 棉花异性纤维图像特征提取[J]. 农业机械学报,2010,41(3):158~162.
Liu Shuangxi, Zhang Xin, Wang Jinxing, et al. Image feature extraction of cotton foreign fibre [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(3):158~162. (in Chinese)

(下转第 192 页)

Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(5): 60 ~ 64. (in Chinese)

11 郑文钟, 何勇. 基于粗糙集的粮食产量组合预测模型[J]. 农业机械学报, 2005, 36(11): 75 ~ 78.
Zheng Wenzhong, He Yong. Study on integrated forecasting methods for grain yield based on rough set theory[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(11): 75 ~ 78. (in Chinese)

12 陈华友. 组合预测方法有效性理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.

13 徐涵秋. 基于影像的 Landsat TM/ETM + 数据正规化技术[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2007, 32(1): 62 ~ 66.
Xu Hanqiu. Image-based normalization technique used for Landsat TM/ETM + imagery[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2007, 32(1): 62 ~ 66. (in Chinese)

14 陈俊, 王文, 李子杨, 等. Landsat-5 TM 数据的辐射校正与几何定位精度[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(6): 1 094 ~ 1 100.
Chen Jun, Wang Wen, Li Ziyang, et al. Landsat-5 TM data radiometric correction and geospatial positioning accuracy[J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(6): 1 094 ~ 1 100. (in Chinese)

15 唐小我. 经济预测与决策新方法及其应用研究[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1997.

16 Clemen R T. Combining gorecasts: a review and annotated bibliography[J]. International Journal of Forecasting, 1989, 5(4): 559 ~ 583.

17 徐新刚, 王纪华, 黄文江, 等. 基于权重最优组合和多时相遥感的作物估产[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9): 137 ~ 142.
Xu Xingang, Wang Jihua, Huang Wenjiang, et al. Estimation of crop yield based on weight optimization combination and multi-temporal remote sensing data[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(9): 137 ~ 142. (in Chinese)

18 傅庚, 唐小我, 曾勇. 广义递归方差倒数组合预测方法研究[J]. 电子科技大学学报, 1995, 24(2): 211 ~ 217.
Fu Geng, Tang Xiaowo, Zeng Yong. Study of GRVRW method for combination forecasting [J]. Journal of UEST of China, 1995, 24(2): 211 ~ 217. (in Chinese)

19 徐新刚, 吴炳方, 蒙继华, 等. 农作物单产遥感估算模型研究进展[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 290 ~ 298.
Xu Xingang, Wu Bingfang, Meng Jihua, et al. Research advances in crop yield estimation models based on remote sensing [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(2): 290 ~ 298. (in Chinese)

20 Weiser R L, Asrar G, Miller G P, et al. Assessing grassland biophysical characteristics from spectral measurements[J]. Remote Sensing of Environment, 1986, 20(2): 141 ~ 152.

21 董树亭. 玉米生态生理与产量品质形成[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

(上接第 164 页)

2 Yang Wenzhu, Li Daoliang, Zhu Liang. A new approach for image processing in foreign fiber detection [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 68(1):68 ~ 77.

3 Miguel A Luengo-Oroz, Emmanuel Faure, Jesús Angulo. Robust iris segmentation on uncalibrated noisy images using mathematical morphology [J]. Image and Vision Computing, 2010, 28(2):278 ~ 284.

4 赵志刚,管聪慧. 基于多尺度边缘检测的自适应阈值小波图像降噪[J]. 仪器仪表学报,2007,28(2):288 ~ 292.
Zhao Zhigang, Guan Conghui. Wavelet image de-noising based on multi-scale edge detection and adaptive threshold [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2007,28(2):288 ~ 292. (in Chinese)

5 郭敬坤,徐幼林,汪希伟. 混药器流体图像采集与分割方法[J]. 农业机械学报,2009,40(1):83 ~ 86.
Guo Jingkun, Xu Youlin, Wang Xiwei. Investigation of liquid image processing methods for pesticide mixer [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(1):83 ~ 86. (in Chinese)

6 Navon E, Miller O, Averbuch A. Color image segmentation based on adaptive local thresholds [J]. Image and Vision Computing,2005,23(1):69 ~ 85.

7 李正明,王森,孙俊. 图像分割在成熟茄子目标识别中的应用[J]. 农业机械学报,2009,40(增刊):105 ~ 108.
Li Zhengming, Wang Sen, Sun Jun. Image segmentation in object recognition of mature eggplant[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(Supp.): 105 ~ 108. (in Chinese)

8 Kieffer Roland, Charcosset Catherine, Puel Francois. Numerical simulation of mass transfer in a liquid-liquid membrane contactor for laminar flow conditions[J]. Computers and Chemical Engineering, 2007, 32(6):1 325 ~ 1 333.

9 吴兰兰,刘建英,文友先. 基于分形维数的玉米和杂草图像识别[J]. 农业机械学报,2009,40(3):176 ~ 179.
Wu Lanlan, Liu Jianying, Wen Youxian. Image identification of corn and weed based on fractal dimension [J] . Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(3):176 ~ 179. (in Chinese)