

自适应烟丝宽度测量方法及其应用研究

邸成良^{1,2} 严伟¹ 胡松¹ 赵维一³ 温若愚³

(¹ 中国科学院光电技术研究所, 四川 成都 610209; ² 中国科学院大学, 北京 100049)

³ 川渝中烟工业有限责任公司, 四川 成都 610066

摘要 香烟烟叶的切丝宽度对卷烟的物理指标和感官质量具有重要影响。针对烟丝形状狭长、姿态各异、宽度不一的特点, 提出了一种自适应烟丝宽度测量方法。该方法采用大像元数量的线阵电荷耦合器件 (CCD) 扫描获取烟丝高清晰数字图像。经过图像二值化处理、图像分割、去杂质、图像细化、去毛刺、边缘提取以及矩阵翻转等一系列步骤测量烟丝宽度。通过对实际烟丝进行测量, 发现利用该方法计算烟丝宽度对烟丝复杂形态具有良好的自适应能力。通过对电子束直写光刻机制作的标准样板的测量值与实际值的对比分析, 验证了该方法具有很高的测量精度。

关键词 图像处理; 机器视觉; 矩阵翻转; 自适应测量

中图分类号 TP391.4 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL201441.0708004

Research on Adaptive Width Measuring Method of Cut Tobacco and Its Application

Di Chengliang^{1,2} Yan Wei¹ Hu Song¹ Zhao Weiyi³ Wen Ruoyu³

(¹ Institute of Optics and Electronics, Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610209, China
² University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
³ China Tobacco Chuanyu Industrial CO. LTD, Chengdu, Sichuan 610066, China)

Abstract The width of cut tobacco has significant influences on the physical properties and sensory qualities of cigarettes. Due to the narrowness, complex distribution and different widths properties of the cut tobacco, a width measuring method is proposed based on adaptive image processing technologies. The high definition image of cut tobacco is attained by the scanning of highly numerous pixel linear charge coupled device (CCD). Widths are measured by applying series of image processing courses, such as binarization, image segmentation, decontamination, refining, edge extraction and matrix turning. Applying this method on actual cut tobacco images, a well adaptability to the complex distribution of the cut tobacco is verified. Additionally, accuracy is confirmed by contrasting the measurement results with standard template that fabricated from E-Beam lithographic tools.

Key words image processing; machine vision; matrix turning; adaptive measurement

OCIS codes 100.2650; 150.5495; 040.1520; 070.6020

1 引言

烟丝宽度是切叶丝工序的主要质量指标, 我国烟草行业制丝线切烟丝工序的烟丝宽度范围是 0.7~1.1 mm, 允差是±0.1 mm。烟丝宽度对卷烟的物理指标和感官质量都有一定程度的影响^[1-2]。在烟叶切丝过程中, 随着切丝宽度的增加, 叶片的出

丝率相应的有所提高, 灰损率下降; 但烟丝过宽时, 卷制的香烟容易空头, 燃烧性较差, 烟支引燃速度较慢; 在叶中含梗率较高的条件下, 随着烟丝宽度的增加, 烟丝中的含杂量升高, 对卷烟质量不利^[3]。烟支燃吸时, 烟气焦油释放量不仅与烟草原料的化学成分和品种有关, 而且与烟丝的物理特性如烟丝宽度、

收稿日期: 2013-12-13; 收到修改稿日期: 2014-02-17

基金项目: 国家自然科学基金(61376110)

作者简介: 邸成良(1988—), 男, 博士研究生, 主要从事微电子光刻设备关键单元技术方面的研究。

E-mail: chengliangdi@163.com

导师简介: 胡松(1965—), 男, 博士, 研究员, 主要从事微电子光学技术与专用设备、生命科学仪器的研制工作等方面的研究。E-mail: husong@ioe.ac.cn

本文电子版彩色效果请详见中国光学期刊网 www.opticsjournal.net

长度等有关^[4]。因此,如何快速高效测量烟丝宽度,并指导切丝机及时做出调整,已成为保障切丝质量的关键手段之一。

目前,常规的测量方式是采用投影仪,由工人逐根分段测量,此方法需测烟丝数量多、形状不规则,对测量员而言劳动强度大,速度慢,人为因素影响大,测试结果稳定性差。

目前数字图像处理技术的飞速发展,使得计算机自动识别测量成为可能^[5-11]。基于此,提出了一种自适应的烟丝宽度测量方法。对线阵电荷耦合器件(CCD)采集到的烟丝高分辨率图像进行二值化处理、图像分割、去杂质、图像细化、去毛刺、边缘提取以及矩阵翻转测量宽度,便可自动得到循着烟丝走向的多个点宽度值。该方法对烟丝不规则走向具有自适应的测量能力。目前该方法已经应用于烟丝宽度快速测量仪的软件计算中,并取得了良好的实施效果。

2 图像处理过程

2.1 图像的获得与二值化处理

在烟丝图像采集过程中为了实现高精度测量,采用了东芝公司像元数为 10550 的线阵 CCD (TCD2901D),结合相机触发成像和烟丝工件台一维扫描之间的同步控制策略,将逐行成像的线阵 CCD 图像数据合成为一幅二维图像。其中长度方向曝光次数为 10000,在宽度方向使用 8000 个像素,因此每幅 8 bit 深度的灰度烟丝图像大小为 80 MB。图 1 是一幅烟丝原始扫描图像,其右侧是一幅局部图像的放大结果。

从图 1 中左侧的整体图像可以看出在图像边缘位置存在背景色不均匀的现象,为补偿背景照明的不均匀,在二值化处理的阈值选择时采用局部阈值处理方法。与全局阈值处理不同,局部阈值处理采用的是原始图像 $f(x, y)$ 和一个变化的阈值函数



图 1 扫描叶丝图像和局部放大图

Fig. 1 Image of scanning cut tobacco and partially enlarged view

$t(x, y)$ 进行对比得到二值化图像 $g(x, y)$, 如(1)式所示,

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) \geq t(x, y) \\ 0, & f(x, y) < t(x, y) \end{cases} \quad (1)$$

在图 1 中烟丝为检测目标,其余部分可称为背景。局部阈值处理需要对原始图像做形态学开运算,开运算后可以去除图 1 中的烟丝,得到一幅背景图,如图 2(b)所示,定义此时的背景图像图 2(b)为 $f_0(x, y)$ 。用原始图像图 2(a)减去背景图像图 2(b)可得到一幅背景色较为均匀的图像图 2(c),在此基础上对图像图 2(c)应用进行直方图分析得到全局阈值 t_0 ,图 2(c)中大于 t_0 的值为 1,小于 t_0 的值为 0,得到二值化图像图 2(d)。这种先取背景值做差,再做全局阈值等同于对原始图像图 2(a)进行局部阈值处理,阈值函数可表示为 $t(x, y) = f_0(x, y) + t_0$ 。

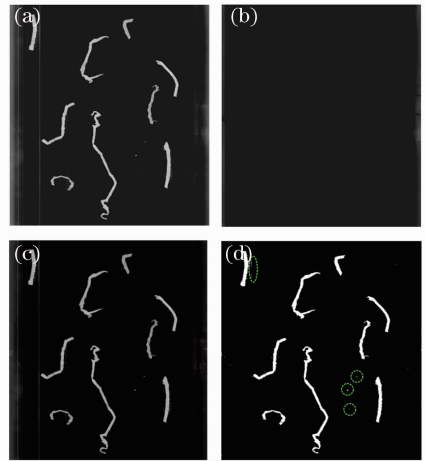


图 2 (a) 烟丝原图像;(b) 背景图像;(c) 背景色均匀的烟丝图像;(d) 二值化后的图像

Fig. 2 (a) Original image of cut tobacco; (b) image of background; (c) image with uniform background; (d) image of binarization

经过局部阈值处理后的图像在二值化后可以很好的适应边缘背景色不均匀的问题。但很明显图 2(d)中存在一些白色的“杂质”点(绿色虚框所示),这主要是由烟丝摆放时的烟丝渣粒的散落造成的。这些“杂质”将对测量结果带来不利影响。

2.2 图像分割与去杂质

线阵 CCD 扫描采集的烟丝图像数据量极大,为加速图像处理的速度,将整体图像分割成由单根烟丝组成的 N 幅小图像。图像分割采用标记法进行标记,多条烟丝摆放在载物台上后,两两互不接触,然后将第一条烟丝的图像区域像素标记为 1,第二条烟丝图像区域像素标记为 2,依此类推,标记整个

图像,有 N 个区域就有 N 个标记。图像区域的识别是根据 8 联通划分的。一般而言“杂质”区域的面积远小于单根烟丝的面积,根据实际情况可以用一批烟丝中最短的那根烟丝的面积作为参考,设置一个比该烟丝面积更小的面积值为阈值(该阈值在实际应用中表现为一个在烟丝宽度测量软件界面上大小可调的参数),区域面积小于该阈值的小区域视为“杂质”进行去除,例如图 2(d)中绿色虚框所示的部分。最后将去除“杂质”后具有相同标记号的像素点保存为独立的小图像即完成了分割步骤。图 3 为标记算法的示意图,其中图中 1、2、3 三个大区域被选择作为烟丝,而面积远小于三个大区域的小区域 4 被作为“杂质”。

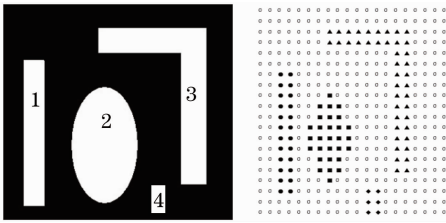


图 3 用于图像分割标记法示意图

Fig. 3 Labeling method for image segmentation

图 4 为依据此方法分割实际烟丝图像后的单根烟丝图像。结果表明该方法可以正确得到单根烟丝组成的小图像,且非常准确的去除了“杂质”。



图 4 分割后的图像

Fig. 4 Images set of segmentation processing

2.3 图像细化与去毛刺处理

在后面图像翻转测量宽度小节中需要预先得到烟丝沿着其走向的中线,由于烟丝走向复杂不具有规则性,传统的水平取中点与竖直取中点的方法都不适用,因此采用一种腐蚀算法来寻找图像的中线。腐蚀过程为将二值图像减小为单个像素宽的细线(烟丝中线)。该操作每次应用都会从二值图像物体的厚度中删除一个或两个像素,最终得到物体细化后的图像。以图 4 中的第二幅图像为例,经过细化

后的图像如图 5(b)所示。

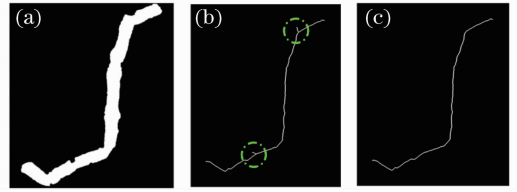


图 5 (a) 单根烟丝图像;(b) 带毛刺的细化图像;
(c) 去除毛刺后的细化图像

Fig. 5 (a) Image of single cut tobacco; (b) refined image with burr; (c) refined image without burr

烟丝结构不规则性会造成细化图像产生无关的“毛刺”,如图 5(b)中虚框所示。要测量烟丝的宽度,必须将“毛刺”部分去除。本技术采用“破裂法”进行去“毛刺”。“破裂法”首先要寻找的是毛刺与烟丝中线主干的“分叉点”(破裂点),该点具有类似于交通线路中“三岔路口”的特点。以该点为基准将三条“岔路”进行分离,分别计算三段曲线的长度,最短的那一条即毛刺。将最短的那条线段填充为背景色即可去掉该点的毛刺。将细化图像中所有“破裂点”处的毛刺去除掉后,留下一条与烟丝走向一致的连续单像素无毛刺图像。

根据细化图像为单像素 8 联通区域连接的特点,可以利用一个 3 阶矩阵寻找“破裂点”。在矩阵中心位置(“破裂点”位置)的 a_5 的值为 1,且其周围存在 3 条“岔路”,每条“岔路”的端点值也均为 1,因此所有“破裂点”均需满足(2)式的条件:

$$M = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ a_4 & a_5 & a_6 \\ a_7 & a_8 & a_9 \end{bmatrix}, a_5 = 1, a_1 + a_2 + \dots + a_9 = 4, \quad (2)$$

能够满足(2)式的特征矩阵 M 囊括了“破裂点”可能出现的所有形态。将多个形态的特征矩阵与细化图像进行逐点像素的对比,能够与矩阵匹配的点即为毛刺分叉的“破裂点”。

应用以上所述的方法,最终得到与图 4 对应的多根无毛刺细化图像,如图 6 所示。

2.4 图像翻转测量宽度

得到分割后的单根烟丝图像和细化图像是烟丝宽度测量的先决条件。宽度测量包括两部分;第一部分是平均宽度的测量,用来表征整根烟丝的平均宽度,即用烟丝分割后的单根烟丝图像总的像素点数除以对应细化后细化图像的长度;第二部分是局部宽度测量,需要得到烟丝中线和边缘。细化后的图像可以作为烟丝的中线,在烟丝边界识别中,因为

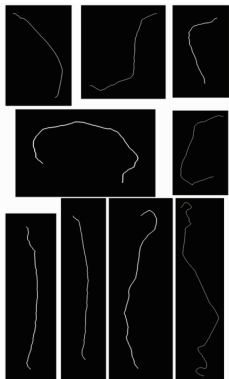


图 6 细化后的图像组图

Fig. 6 Image set of refining processing

细化图像为二值图像,因此应用任意一种边沿提取方法(如 Sobel, Prewitt, Roberts 和 Canny 算子)均可准确的提取出烟丝的轮廓,图 7 是边界图像和细化图像的示意图。为测量图像特定位置 (x, y) 点的宽度,以 (x, y) 为中心取正方形矩阵,矩阵边长取 2.0 倍的平均宽度,将矩阵的图像进行逆时针 90° 翻转,细化图像与烟丝轮廓产生两个交点 (x_1, y_1) 与 (x_2, y_2) 如图 8 所示,则该点的宽度由(3)式确定:

$$W = \sqrt{(x_1 - y_2)^2 + (x_1 - y_2)^2}. \quad (3)$$

为增加测量的准确度,以相同的方法将矩阵顺时针翻转 90° 再测量一个宽度值,与逆时针翻转矩阵测得的宽度值做平均,这样可以更好地匹配测量点 (x, y) 的实际宽度值。

依据矩阵翻转测量宽度的方法,以图 5 中所示

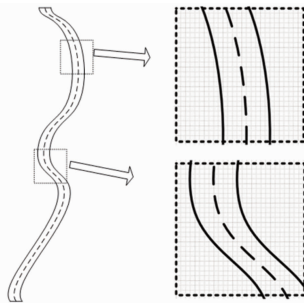


图 7 单根烟丝的细化图像和边缘图像

Fig. 7 Refining and edge image of single cut tobacco

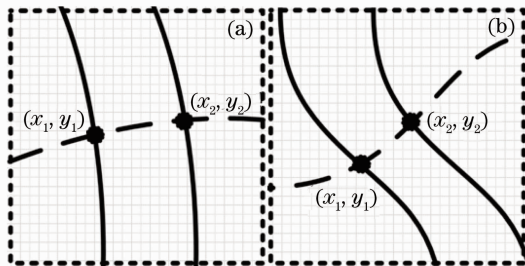


图 8 矩阵翻转测量宽度

Fig. 8 Width measurement using matrix turning

的烟丝为代表,由上到下测量步长取 100 pixel,测得一系列逆时针旋转后的宽度值,如图 9 所示。从图中可以看出采用矩阵翻转的自动选择宽度方法能够适应结构复杂的烟丝形态,具备良好的自适应能力。由于采用了超高分辨率的线阵 CCD 扫描成像,与传统人工测量相比具有更高的精度,且避免了人工测量引起的人为误差。

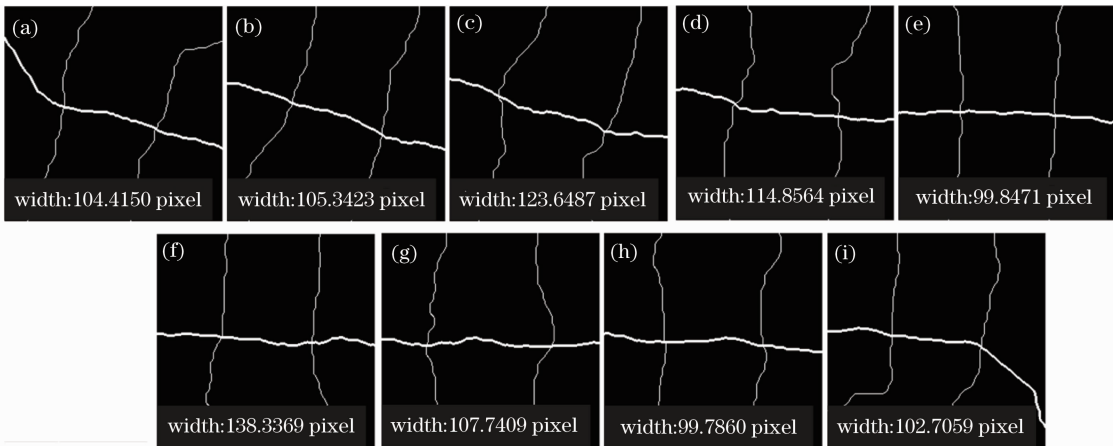


图 9 矩阵翻转测得的局部宽度

Fig. 9 Partial widths measured from matrix turning

3 宽度测量方法的标定

为标定烟丝宽度测量方法的准确性,制作了形状,大小不同的标准样板,如图 10 所示。样板采用电子束直写光刻机制作而成,精度在纳米量级,足够

满足实验验证需求。

通过多次测量标准样板,结合成像关系与实测结果,最终确定在实际图像上每个像素代表的实际烟丝尺寸为 $9.864 \mu\text{m} \times 9.864 \mu\text{m}$ 。将图 10 中 8 种

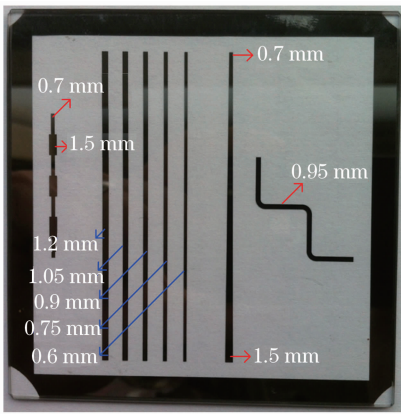


图 10 电子束直写光刻机制作的标准样板

Fig. 10 Standard template fabricated by E-Beam lithographic tools

形式的标准样品分为两类,表 1 中给出的是 5 根竖直摆列宽度恒定的样品(图 10 中蓝色标记)测量值和实际值的对比。表 2 给出的是 3 种宽度或形态分布不规则的样品(图 10 中红色标记)的实测结果与实际值的对比。

表 1 5 种宽度规则的样品测试结果

Table 1 Measured results of five regular samples

True value /mm	0.6	0.75	0.9	1.05	1.2
Measured mean value /mm	0.597	0.748	0.900	1.053	1.206
Measured mean error /mm	-0.003	-0.002	0.000	0.003	0.006
Measured max error /mm	0.005	0.006	0.004	0.005	0.006

表 2 3 种结构复杂的样品测试结果

Table 2 Measured results of three irregular samples

Shape	Tooth Trapezoid "W"		
	form	form	form
True mean value /mm	1.043	1.100	0.950
Measured mean value /mm	1.044	1.100	0.095
Measured mean error /mm	0.001	0.000	0.000
Measured max error /mm	0.004	0.006	0.002

从表 1 和表 2 中的数据对比可以发现,对单个样品进行多次测量的结果最大误差为 0.006 mm,多次局部宽度测量平均值与真实值最大误差为 -0.003 mm。与标准规定的切丝宽度允差(±0.1 mm)相比,测量精度较高且稳定性良好,验证了基于图像处理的自适应烟丝宽度测量方法的精确性和稳健性。

4 结 论

提出了一种基于数字图像处理的自适应宽度测

量方法。针对烟丝结构多变、复杂的特点采用了一系列图像处理方法最终得到每根烟丝多个局部烟丝点位的宽度。从文中大量图表以及中间计算结果可以得知该方法具有很强的自适应性和抗杂质干扰性,可一次性测量多根烟丝,与传统人工测量方法相比具有很大的优势。通过比较标准样板的测量值与实际值,验证了该方法具有超高精确度。此外,该测量方法已经应用于实际仪器中,并取得了良好的实施效果;在拓展应用方面还可进一步应用于其他形状狭长,规则多变的样品检测中。

参 考 文 献

- 1 黄嘉初. 卷烟工艺[M]. 北京: 北京出版社, 2002.
- 2 Zhu Wenkui, Zhang Yongchuan, Xiang Guang, *et al.*. Effects of cutting mode on cut tobacco structure and cigarette manufacturing quality[J]. Tobacco Science & Technology, 2012, (5): 10-12.
- 3 朱文魁, 张永川, 向光, 等. 片烟成丝模式对烟丝结构与卷制质量的影响[J]. 烟草科技, 2012, (5): 10-12.
- 4 Chen Kunyan. Effects of cut stem width on technology quality of cut stem[J]. Journal of Anhui Agri Sci, 2013, 41(1): 307-308.
- 5 陈昆焱. 烟梗切丝宽度对梗丝工艺质量的影响研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(1): 307-308.
- 6 张槐琴. 叶丝宽度对卷烟烟气焦油量的影响[J]. 烟草科技, 1996, (5): 5.
- 7 Fang Yan, Yang Xichen, Lei Jianbo. Research on shallow spot defect detection based on laser remanufacturing robot[J]. Chinese J Laser, 2012, 39(12): 1203005.
- 8 方艳, 杨洗趁, 雷剑波. 基于激光再造机器人的表面牵斑缺陷识别研究[J]. 中国激光, 2012, 39(12): 1203005.
- 9 Wang Weihua, Li Zhijun, He Yan, *et al.*. A real-time target detection algorithm for infrared search and track system based on region of interest extraction[J]. Chinese J Laser, 2012, 39(11): 1109001.
- 10 王卫华, 李志军, 何艳, 等. 一种基于兴趣区提取的红外搜索系统目标实时检测算法[J]. 中国激光, 2012, 39(11): 1109001.
- 11 Gao Xiaoliang, Wang Zhiliang, Liu Jiwei, *et al.*. Variable domain algorithm for image segmentation using statistical modes based on intensity features[J]. Acta Optica Sinica, 2011, 31(1): 0115003.
- 12 高晓亮, 王志良, 刘冀伟, 等. 基于灰度特性统计的可变区域图像分割算法[J]. 光学学报, 2011, 31(1): 0115003.
- 13 Guo Baolong, Wu Xiaoyue, Li Leida. A new approach for removing the Gibbs-like artifacts in image denoising[J]. Chinese J Laser, 2010, 31(3): 769-773.
- 14 郭宝龙, 武晓玥, 李雷达. 一种新的有效消除图像中 Gibbs 噪声的算法[J]. 中国激光, 2010, 37(3): 769-773.
- 15 Liu Danping, Zhang Lei, Guo Xiaoliang, *et al.*. Novel approach for tracking accuracy enhancement in infrared spot image[J]. Chinese J Laser, 2010, 37(1): 186-189.
- 16 刘丹平, 张磊, 郭晓亮, 等. 提高红外光斑图像跟踪定位精度的新方法[J]. 中国激光, 2010, 37(1): 186-189.
- 17 Yang Xiukun, Zhong Mingliang, Jing Xiaojun, *et al.*. Near-infrared microscopic image segmentation based on W2DPCA-FCM[J]. Acta Optica Sinica, 2013, 33(8): 0811002.
- 18 杨秀坤, 钟明亮, 景晓军, 等. 基于 W2DPCA-FCM 的近红外显微图像分割[J]. 光学学报, 2013, 33(8): 0811002.
- 19 He Huijie, Feng Qibin, Zhang Lei, *et al.*. Global dimming algorithm based on image classification[J]. Acta Optica Sinica, 2013, 33(8): 0823002.
- 20 何会杰, 冯奇斌, 张磊, 等. 基于图像分类的全局动态调光算法[J]. 光学学报, 2013, 33(8): 0823002.