

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.10.030

基于机器视觉的烟叶面积在线测量*

夏营威¹ 徐大勇² 堵劲松² 张 龙¹ 刘 勇¹ 王 安¹

(1. 中国科学院安徽光学精密机械研究所, 合肥 230031;

2. 中国烟草总公司郑州烟草研究院烟草行业烟草工艺重点实验室, 郑州 450001)

【摘要】 为提高烟草打叶复烤工艺中烟叶叶片结构的检测效率,研究了用于烟叶叶片结构在线检测的叶片面积快速测量方法。采用空变模糊矩阵还原了线阵相机的场曲模糊,利用张正友标定法校正了图像畸变;提出了对噪声、照明环境不敏感的 *R*、*G* 分量差值阈值分割法,实现了叶片图像的高精度分割;提出了计算效率较高的叶片面积拼接法,解决了在线检测时单个叶片被分割在 2 幅图像中的问题。采用多线程技术,编写了并行图像处理软件,开展了重复性实验,结果表明:图像处理速度达 22 帧/s,能够满足在线测量要求,在 100 ~ 2 500 mm² 量程内,相对误差小于 0.50%,变异系数小于 1.01%。

关键词: 烟叶 叶片面积 在线测量 机器视觉

中图分类号: TP391.41; TS44⁺3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2012)10-0167-07

On-line Measurement of Tobacco Leaf Area Based on Machine Vision

Xia Yingwei¹ Xu Dayong² Du Jinsong² Zhang Long¹ Liu Yong¹ Wang An¹

(1. Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China

2. Key Laboratory of Tobacco Processing Technology, Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou 450001, China)

Abstract

To improve detection efficiency of tobacco strip size distribution in the process of tobacco leaf threshing and redrying, a quick on-line measuring method of tobacco leaf area for analyzing tobacco strip size distribution was investigated. Leafs area were measured on-line by analyzing the leaf images on the conveyor. The field curvature blur of line camera was restored by means of space variant blur matrix, and the image distortion was rectified by Zhang Zhengyou calibration method. A threshold segmenting method which uses the difference of *R* and *G* component was proposed. The segmentation method which is insensitive to noise and illumination can segment the leaf image form background accurately. An efficient method of leaf area accumulating was proposed to replace the image stitching and the problem of single leaf partitioned in two images was solved. The parallel image processing software was written by using multi-threading technology. The repeatability tests results show that the image processing speed reaches to 22 frame in each second, the relative error is less than 0.50% and the coefficient of variation is less than 1.01% which is in the 100 ~ 2 500 mm² measuring range.

Key words Tobacco leaf, Leaf area, On-line measurement, Machine vision

引言

打叶复烤是烟叶加工的重要环节,在此环节中

烟叶被撕裂为大小不等的叶片,不同面积的叶片所占的比例称为叶片结构。叶片结构是衡量打叶质量的重要指标,是决定后期卷烟端部落丝、单支质量、

收稿日期: 2011-11-15 修回日期: 2011-12-14

* 国家烟草专卖局标准资助项目(国烟科(2010)91号)和安徽省烟草专卖局科技计划资助项目(AHKJ2009-05)

作者简介: 夏营威,博士生,主要从事机器视觉和智能仪器研究, E-mail: xiayw@aiofm.ac.cn

通讯作者: 王安,研究员,博士生导师,主要从事光纤光电子、精密机械与智能仪器研究, E-mail: wangan@aiofm.ac.cn

空头率、烟支密度、含末率、填充率等指标的主要因素^[1-2]。测定叶片结构的关键是测量叶片的面积,其测量方法主要分为传统筛分法和图像法。效率较低的传统筛分法已经很难满足现代化卷烟生产工艺要求,图像法凭借测量精度高、效率高等优点,得到越来越广泛的关注,已经成为叶片结构测定方法的发展方向。研究高效的烟叶面积和叶片结构在线测量方法具有重要意义。

本文提出一种烟叶面积在线测量方法,在该方法中,传送带视场较宽(350 mm),需要采用广角镜头,因而需要对广角镜头造成的视场弯曲和图像畸变进行校正;传送带速度快(3 m/s)要求图像处理算法简洁、快速。为实现烟叶结构在线检测,本文提出改进的叶片图像实时测量方法。使用空变模糊矩阵实现线阵相机场曲复原^[3],利用张正友标定法^[4]校正广角镜头的桶形畸变^[5],通过 RGB 颜色模型^[6]中的 *R*、*G* 分量差值实现阈值分割,采用叶片面积拼接,避免图像拼接引起的计算量增大。

1 机器视觉系统

主要包括线阵 CCD 相机、计算机、线阵白色 LED 光源、运送胶带机和镜头等,如图 1 所示。相机采用 DALSA 公司的 SG-32-02K80 型彩色线阵相机,分辨率为 2 048,最大线率为 18 kHz,像素尺寸为 14 μm×14 μm;采用焦距为 28 mm 的 SIGMA EXDG 型广角镜头。

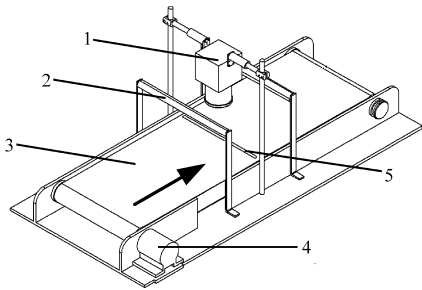


图 1 机器视觉系统结构

Fig. 1 System structure of machine vision

1. 线阵 CCD 相机 2. 线阵 LED 光源 3. 运送胶带机 4. 驱动装置 5. 相机视场

本系统的前级结构包括打叶复烤生产线上的采样装置和叶片松散装置。输送到图 1 所示传送带上的待测叶片是松散的无重叠叶片,传送带运送叶片沿箭头方向通过相机视场,计算机分析相机采集的图像,实时测量图像中各个叶片的面积。装置中线阵相机的视场为垂直于传送带运动方向的窄条形区域,其长度(即传送带宽度)为 350 mm,对应成像空间中 2 048 个像素,即成像空间中单个像素对应的视场长度为 0.170 9 mm,又因像素长宽比为 1,得出相

机视场宽度为 0.170 9 mm。传送带的运送速度为 3 m/s,该速度除以视场宽度,可得相机的工作线率应设定为 17 554 Hz。本系统将 1 000 行线阵图像组成一帧大小为 2 048 像素×1 000 像素的面阵图像,用该面阵图像作为图像测量的对象。由相机的工作线率可得:相机采集图像的帧率为 18 帧/s,即采集一帧图像需要 55.6 ms。

2 图像恢复

因为传送带较宽,本方法使用了广角镜头,该类型镜头成像时,中央区域与边缘区域的放大倍数不一致,导致图像边缘的畸变和场曲现象较为严重。为提高本方法的测量精度,对镜头场曲和畸变进行了复原和校正。

2.1 场曲复原

场曲(像场弯曲)是光学系统常见的像差之一,该现象使物体在平面上不能完全清晰成像,当中心调焦清晰时,边缘会变得模糊;反之,边缘清晰时中心则变模糊^[7]。降低镜头场曲模糊常用的方法有坐标变化法^[8-9]、分段 Wiener 滤波法^[10]等。前者需要知道成像系统点扩散函数的显示形式,且要求该函数可变换,使得该方法在具体应用上具有局限性;后者分段引起的寄生纹波会引入干扰,导致系统误检。

采用基于空变模糊矩阵^[3]的场曲复原方法。首先通过测试细条纹板,得到部分区域的点扩散函数,再由这些点扩散函数合成退化矩阵。获得退化矩阵后,使用约束最小二乘方法对采集到的一维图像进行复原。

该方法将一维观测信号表示成

$$g = Hf + n \tag{1}$$

其中 $H = [p_1 \ p_2 \ \cdots \ p_N]^T \tag{2}$

$$p_i = [\underbrace{0 \cdots 0}_{i-k_i} \ \underbrace{h_i(-k_i) \cdots h_i(0) \cdots h_i(k_i)}_{2k_i+1} \ \underbrace{0 \cdots 0}_{N-i-k_i}] \tag{3}$$

式中 *g*——观测信号 *f*——原信号
n——观测噪声,是长度为 *N* 的矢量
H——空变模糊矩阵,大小为 *N*×*N*
p_i——长度为 *N* 的矢量
h_i——像场中第 *i* 个像素所在位置对应的点扩散函数

对细条纹测试板(条纹宽度约为单个像素对应的视场宽度)成像,如在位置 *i* 出现灰度峰值,使用位置 *i* 附近灰度渐变区域内的各像素归一化灰度作为 *h_i* 的各个离散值,即可获得部分 *h_i* 取值,并通过线性插值估算其他 *h_i*,再由式(2)获得本方法中线

阵成像系统的空变模糊矩阵 H 。

获得空变模糊矩阵 H 后,使用约束最小二乘法^[3],即

$$\begin{cases} \underset{\hat{f}}{\operatorname{argmin}} \|g - H\hat{f}\|^2 \\ \text{s. t. } \min \|C\hat{f}\|^2 \end{cases} \quad (4)$$

求解得到

$$\hat{f} = Bg = (H^T H + \lambda C^T C)^{-1} H^T g \quad (5)$$

式中 $\hat{f}$ ——复原获得的图像

B ——最终求得的图像复原矩阵

C ——Laplace 算子扩展得到的 $N \times N$ 矩阵

λ ——正则项系数

这里使用 $[-1 \ 2 \ -1]$ 代替 Laplace 算子扩展成与式(3)类似的轮换矩阵, λ 可通过 Brent 等迭代方法^[11] 查找,使得

$$\|g - H\hat{f}\|^2 = \|n\|^2 \quad (6)$$

式中 $\|n\|^2$ ——系统的噪声总功率

$\|n\|^2$ 可由空白图像求得,并由此找出 λ 数值,代入式(5),即可获得本系统的图像复原矩阵 B 。 B 与相机采集到的图像 g 相乘,即获得复原后图像。

图 2 中虚线是对叶片流进行检测时,从一次采集到的一维图像中截取的部分数据,实线是场曲复原后图像。图 2 中像素 1993 到 2021 之间突起对应的是叶片,1976 到 1989 对应的图像为传送带,1989 到 1993 之间的凹陷为叶片在传送带上的阴影。从图 2 可以看出,复原后图像还原了高频信息,叶片图像的边缘更加陡峭。可见,使用上述复原方法减少了边缘模糊像素的数量,使叶片图像更为尖锐,提高了图像的分辨率。

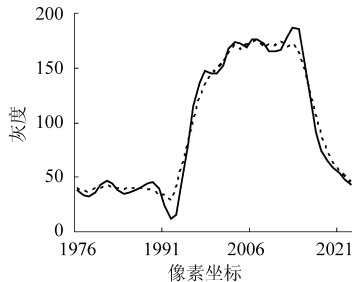


图 2 场曲复原前、后图像对比

Fig.2 Contrast of images before and after field curvature recovery

2.2 畸变校正

广角镜头的径向畸变是典型的桶形畸变,在图像中心区域畸变较小,离图像中心越远畸变越严重^[12~13]。桶形畸变的校正方法主要包括以下 2 类:一类是基于已知参数的标准模板^[14],该方法利用标

准形状的形变来确定畸变参数,实现图像恢复;另一类是基于标有任意直线的非标准模板^[15],该方法依据直线成像后依然为直线,在恢复畸变后的曲线到直线的过程中确定畸变参数,实现图像恢复。

本文采用了属于第 1 类的张正友标定法^[4]实现本系统的畸变校正。该方法的基本原理可表示为

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = K \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中 s ——任意尺度比例系数

$[u \ v \ 1]^T$ ——标定模板上的点成像到像平面上的点的齐次坐标

K ——相机的内参数矩阵

$t, [r_1 \ r_2 \ r_3]$ ——相机坐标系相对于世界坐标系的平移向量和旋转矩阵

$[X \ Y \ 1]^T$ ——标定模板上点的齐次坐标

式(7)假设了标定模板所在平面为世界坐标系的 $Z=0$ 平面,该方法的操作流程^[4]如下:制作一块棋盘格标定模板;在视场不同位置采集多张标定模板图像;根据多幅图像中的特征点求出相机的内、外参数;计算畸变系数。

本文使用上述方法对图像采集系统进行了桶形畸变校正,图 3 为校正前、后线阵图像的灰度分布。为对比校正前、后的图像细节,截取了完整图像中像素坐标为 1769 ~ 2048 的图像,可以发现,在 1775 处校正前、后图像偏移约 1 个像素,在 1884 处偏移约 4 个像素,在 1996 处偏移约 8 个像素,越靠近图像边缘,偏移量越大,表明上述方法能够实现本系统的桶形畸变校正。

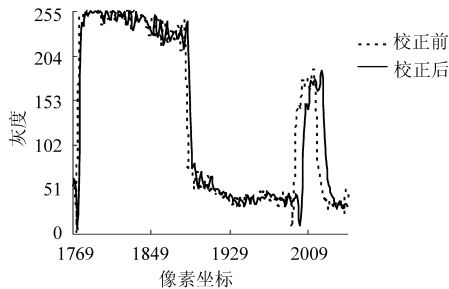


图 3 畸变校正前、后图像对比

Fig.3 Contrast of images before and after distortion correction

在上述场曲还原和畸变校正方法中,图像还原矩阵和成像系统的内、外参数只需要在检测之前计

算,在检测过程中直接使用即可,占用的计算时间较少,对本方法的检测效率影响不大。

3 图像测量

3.1 基于颜色分量差值的阈值分割

合理利用彩色图像的颜色信息实现图像分割,是目标提取的重要手段^[16]。本方法的检测对象为黄色或黄褐色烟叶叶片,传送叶片的传送带颜色为深绿色,图4为1000行线阵图像组成的图像。

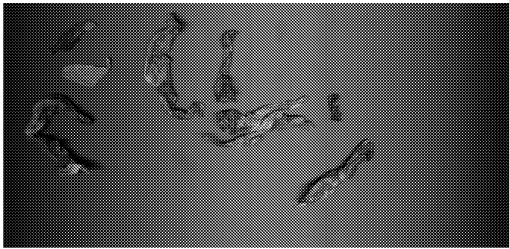


图4 1000行线阵图像组成的烟叶图像
Fig.4 Image of tobacco leaves assembled
by 1000 lines acquisition

文献[17]提出的方法将彩色待测图像转换成灰度图像,没能利用叶片的颜色信息,且由于使用固定阈值实现图像分割,分割精度较低。本文采用RGB颜色模型进行颜色分析,统计图4中RGB各分量直方图,如图5所示,各分量灰度集中分布在13到133之间,直方图轮廓相似,但各分量灰度分布范围存在差异。

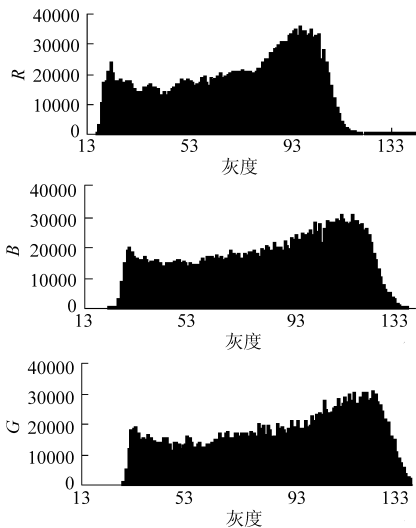


图5 R、G、B分量灰度直方图
Fig.5 Histogram of R, G, B component

利用颜色分量的灰度分布差异,本文提出基于R、G分量差值的阈值分割,分割方法为

$$P_s = \begin{cases} 255 & (P_R - P_G > T_1) \\ 0 & (P_R - P_G \leq T_1) \end{cases} \quad (8)$$

式中 P_s ——分割后像素点取值
 P_R ——该像素R分量值
 P_G ——该像素G分量值
 T_1 ——分割阈值

当某像素点R分量与G分量差值大于 T_1 时,判断该像素点为白点,否则为黑点。

图像中可能出现偏白色的叶片图像,该类图像的R、G灰度均较大,但R、G差值较小或无明显差异,使用R、G分量差分无法实现图像分割,所以在本方法中引入阈值 T_2 :当R分量大于 T_2 ,则判断该点为白点。 T_1 、 T_2 的取值与视场照明相关,本系统视场内的光强从中央到边缘逐渐降低,视场中央区域光强最大。采集传送带的一维图像,取图像中R分量的最小值 P_{Rmin} 与G分量的最小值 P_{Gmin} 之差的80%作为 T_1 取值,取图像中R分量的最大值 P_{Rmax} 的120%作为 T_2 取值。优化后的阈值分割方法为

$$T_1 = 0.8(P_{Rmin} - P_{Gmin})$$
$$T_2 = 1.2P_{Rmax}$$
$$P_s = \begin{cases} 255 & (P_R > T_2) \\ 255 & (P_R - P_G > T_1) \\ 0 & (P_R - P_G \leq T_1) \end{cases} \quad (9)$$

按照上述阈值分割方法, T_1 取值为10, T_2 取值为190,提取图4的R、G分量(图6),阈值分割结果如图7所示。提取图7中矩形框内的图像边缘与原图对比,如图8所示。图8中细节对比表明,本文提出的阈值分割方法可以很好地实现烟叶图像分割,且对视场亮度、噪声和阴影不敏感,在照明不均和未进行去噪处理的条件下,依然可以实现对图像的精确分割。

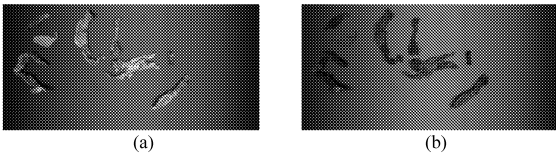


图6 R、G分量图
Fig.6 Image of R and G component
(a) R分量 (b) G分量



图7 二值化图像
Fig.7 Image after threshold segmentation

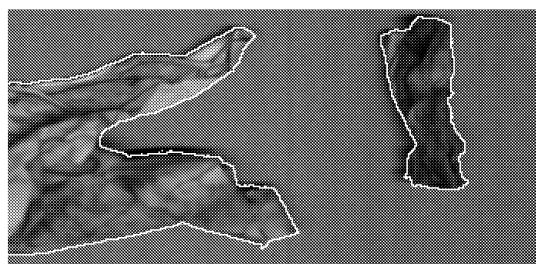


图 8 细节对比

Fig. 8 Detail contrast

3.2 面积计算方法

实现叶片图像阈值分割后,需要对图像中各叶片的二值化图像进行连通域标记。图像标记算法大致分为:像素标记法^[18]、线标记法^[19]、区域增长法^[20]、四叉树法^[21]及其他基于特殊体系的并行标记算法^[22]等。文献[23]提出了完整的叶片结构测定系统,但采用的图像处理算法运算效率偏低,不适用于快速传送带上的在线测量。本文使用线标记法与区域增长法相结合的标记方法^[16],该方法使用种子段(一行内连续的多个种子点)代替单个种子点进行区域增长,一次增长只标记种子段所在行的上下两行。使用该方法对叶片图像进行标记,如图 9 所示,A2 和 B2 分别为 A1 和 B1 的标记后图像,使用了不同的灰度标记了不同的叶片,实验表明,该方法适用于本文的叶片连通域标记。

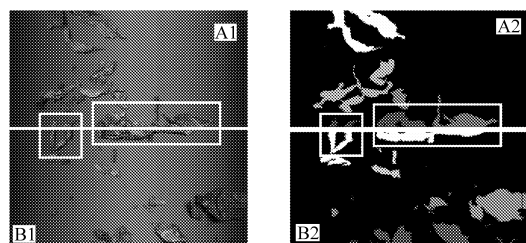


图 9 需要拼接的图像

Fig. 9 Image needed to mosaic

连通域标记后,为测得图像中所有叶片的真实面积,需要拼接被分割在两幅图像中的叶片连通域,如图 9 中白色矩形框内的叶片。

本方法采用 1 000 行线阵图像作为图像处理的 1 帧,传送带上的叶片流会被截成连续的单帧图像交由计算机处理,部分叶片会被分割在 2 幅图像中。计算该类型叶片的面积,常用的方法是 2 幅图像拼接,提取拼接后接缝区域的连通域,并计算面积。此方法需要重复处理拼接后图像,计算量较大。本文采用一种效率较高的拼接方法,基本思想如下:分析 A2 图时,统计所有不与图像下边缘交接的连通域的数目及其像素个数,作为 A2 图的输出结果,将与图像下边缘交接的连通域的像素个数、标记值、与下边缘交接的次数和每次交接的始末位置压入堆

栈;分析 B2 图时,统计所有不与图像下边缘交接的连通域的数目及其像素个数,并扫描与上边缘交接的各连通域交接次数和位置,并和堆栈中 A2 图各连通域与边缘交接的位置进行对比,如发现某两个连通域与边缘交接的位置吻合,则将堆栈内连通域的面积累加到对应的 B2 图上连通域的面积中,并从堆栈中清除该连通域信息,这样就实现了将 A2 中被截断的图像合并到了 B2 中;此时输出 B2 中所有不与图像下边缘交接的连通域的数目,及其像素个数,即实现了对 B2 图的测量,并将 B2 中与下边缘交接的连通域信息压入堆栈,用于与下一幅图像拼接。采用上述方法,每帧图像的输出结果中都不包括与下边缘交接的叶片的信息,将该信息累加到下一帧图像中,并在下一帧图像中完成配对并输出,即可避免直接的图像拼接和重复的图像分析,降低了内存需求和运行成本,同样实现了叶片面积拼接。

获得各连通域像素个数后,像素个数与单个像素对应的视场面积相乘,即可获得各连通域对应的叶片面积。在本文第 1 节中分析得到了单个像素对应的视场宽为 0.170 9 mm,则单个像素对应的面积为 0.029 mm²。

4 结果与讨论

本方法应用于烟叶面积在线检测之前,需要完成以下步骤:①测定视场宽,计算单个像素对应的视场宽,设定相机工作频率。②计算图像复原矩阵 **B**。③获取畸变校正的内、外参数。

完成以上工作后,即可对烟叶面积实施测量,处理 1 帧图像的流程为:①从相机获取的图像中提取 *R*、*G* 分量。②*R*、*G* 分量分别与复原矩阵 **B** 相乘,实现场曲复原。③使用上文畸变校正算法,实现畸变校正。④使用本文提出的 *R*、*G* 分量差值阈值分割法提取叶片二值化图像。⑤标记连通域,并对跨越 2 帧图像的叶片进行面积拼接。⑥由叶片连通域像素个数计算各叶片面积。

按照上述原理和步骤,使用 Visual Studio 2005 编写了测试软件,在主频为 2.1 GHz 的 Inter Core i3 处理器平台上进行了实验。实验结果表明,使用单线程处理 1 帧图像需要的时间大约为 200 ms,即处理速度约 5 帧/s,该速度无法满足本文第 1 节提出的目标处理速度 18 帧/s,但发现单线程处理图像时 CPU 的利用率不足 25%,因为使用的 i3 处理器具有 4 个处理核心,单线程图像处理软件无法使用该 CPU 的全部资源。为提高 CPU 利用率,采用了并行图像处理技术,测试软件为相机采集到的每一帧图

像都开启一个独立的处理线程。每个线程处理结束后向主线程提交测试结果,并自动销毁线程。使用多线程技术后,在上述 CPU 平台上,本文提出的测试方法最快达到 22 帧/s,达到了设计目标。

使用基于多线程编程的图像处理软件开展了重复性实验。使用了面积为 2 500、900 和 100 mm² 的标准板作为测试对象,重复次数为 20 次,实验结果如表 1 所示。

表 1 标准板测试结果
Tab. 1 Testing results of standard board

面积/mm ²	均值/mm ²	绝对误差/mm ²	相对误差/%	标准偏差/mm ²	重复性限/mm ²	变异系数/%
2 500	2 504. 4	4. 4	0. 18	6. 77	18. 9	0. 27
900	897. 7	2. 3	0. 26	5. 13	14. 5	0. 57
100	100. 5	0. 5	0. 50	1. 01	2. 9	1. 01

表 1 数据显示,本方法的绝对误差随着测试面积的增大而增大,相对误差随着测试面积的增大而减小,测试面积在 100 ~ 2 500 mm² 范围内的相对误差小于 0. 50%,变异系数小于 1. 01%,表明本方法的准确度与精密度适用于实际叶片面积在线检测。

为考察图像修正对测量精度的影响,在上述实验中,存储了相机采集的原始图像,利用该图像进行了对比实验。实验中,将本方法中的场曲还原和畸变校正算法去除,对原图进行离线测量,测量结果如表 2 所示。

表 2 无场曲还原与畸变校正的测试结果
Tab. 2 Testing results of standard board without field curvature recovery and distortion correction

面积/mm ²	均值/mm ²	绝对误差/mm ²	相对误差/%	标准偏差/mm ²	重复性限/mm ²	变异系数/%
2 500	2 511. 650	11. 650	0. 46	15. 73	44. 53	0. 63
900	907. 943	7. 943	0. 87	9. 36	26. 49	1. 03
100	97. 902	2. 098	2. 14	2. 47	6. 99	2. 52

表 1 和表 2 中 2 种测试方法的统计数据表明,场曲还原和畸变校正使本方法的重复性限降低了约 50%,测量精度提高了约 2 倍,表明场曲还原和畸变校正的应用能够提高本方法的测量精度。

5 结论

(1) 采用了场曲还原和畸变校正相结合的图像校正方法。使用图像复原矩阵实现了场曲复原,标定了系统的内、外参数,对图像的畸变进行了校正,使本方法的测量精度提高了约 2 倍。

(2) 提出了基于 RGB 颜色模型的 R、G 分量差值阈值分割法,实现了烟叶叶片图像分割。该方法对视场照明环境、噪声和阴影不敏感,可以对亮度不均匀、未进行去噪处理的图像进行高精度图像分割。

(3) 提出了叶片面积拼接方法替代了叶片图像拼接,提高了图像算法的计算效率。

(4) 重复性实验结果表明,本方法在 100 ~ 2 500 mm² 量程内的相对误差小于 0. 50%,变异系数小于 1. 01%,具有较高的准确性和精确性。

参 考 文 献

1 罗登山,曾静,刘栋,等. 叶片结构对卷烟质量影响的研究进展[J]. 郑州轻工业学院学报:自然科学版,2010,25(2): 13 ~ 17.
Luo Dengshan, Zeng Jing, Liu Dong, et al. Development of the effects of strip size distribution on the quality of tobacco[J]. Journal of Zhengzhou University of Light Industry: Natural Science, 2010, 25(2): 13 ~ 17. (in Chinese)

2 曾静,徐大勇,李跃锋,等. 片烟叶面积分布[J]. 烟草科技,2010(10):12 ~ 15.
Zeng Jing, Xu Dayong, Li Yuefeng, et al. Area distribution of tobacco strips [J]. Tobacco Science and Technology, 2010(10): 12 ~ 15. (in Chinese)

3 王季,陆文凯. 线阵相机场曲复原及在异纤检测中的应用[J]. 光学精密工程,2010,18(9):2 116 ~ 2 122.
Wang Ji, Lu Wenkai. Restoration of field curved image from line camera and its applications in foreign fiber detecting [J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(9): 2 116 ~ 2 122. (in Chinese)

4 Zhang Z Y. A flexible new technique for camera calibration [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11):1 330 ~ 1 334.

- 5 Kannala J, Brandt S S. A generic camera model and calibration method for conventional, wide-angle, and fish-eye lenses [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(8): 1 335 ~ 1 340.
- 6 魏春阳, 张云鹤, 宋瑜冰, 等. 基于颜色分形的不同产地烟叶聚类分析[J]. 农业机械学报, 2010, 41(8): 178 ~ 183.
Wei Chunyang, Zhang Yunhe, Song Yubing, et al. Hierarchical cluster analysis of tobacco leaves from different areas based on fractal color [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(8): 178 ~ 183. (in Chinese)
- 7 张明慧, 徐卫, 张尧禹, 等. 航空照片的图像增强研究[J]. 光学精密工程, 2002, 10(2): 194 ~ 200.
Zhang Minghui, Xu Wei, Zhang Yaoyu, et al. Research on image enhancing for aerial photographs [J]. Optics and Precision Engineering, 2002, 10(2): 194 ~ 200. (in Chinese)
- 8 Sawchuk A A. Spaces-variant image restoration by coordinate transformations [J]. J. Opt. Soc. Am., 1974, 64(2): 138 ~ 144.
- 9 邹谋炎. 反卷积和信号复原[M]. 北京: 国防工业出版社, 2004: 184 ~ 286.
- 10 Ozkam M K, Erdem A T, Sezan M I. Efficient multiframe Wiener restoration of blurred and noisy image sequences [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1992, 1(5): 453 ~ 476.
- 11 van Kempen G M P, van Vliet L J. The influence of the regularization parameter and the first estimate on the performance of Tikhonov regularized non-linear image restoration algorithms [J]. Journal of Microscopy, 2000, 198(1): 63 ~ 75.
- 12 Smith W E, Vakil N, Maislin S A. Correction of distortion in endoscopic images [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1992, 11(1): 117 ~ 122.
- 13 Swaminathan R, Nayar S K. Nonmetric calibration of wide-angle lenses and polycameras [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(10): 1 172 ~ 1 178.
- 14 Ardeshir Goshtasby. Correction of image deformation from lens distortion using Bezier patches [J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1989, 47(3): 385 ~ 394.
- 15 Brown D C. Close-range camera calibration [J]. Photogrammetric Engineering, 1971, 37(8): 855 ~ 866.
- 16 陈英, 廖涛, 林初靠, 等. 基于计算机视觉的葡萄检测分级系统[J]. 农业机械学报, 2010, 41(3): 169 ~ 172.
Chen Ying, Liao Tao, Lin Chukao, et al. Grape inspection and grading system based on computer vision [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(3): 169 ~ 172. (in Chinese)
- 17 郑建冬, 伍铁军, 商庆清. 基于图像处理的烟叶叶片结构分类算法[J]. 东华大学学报: 自然科学版, 2007, 33(3): 282 ~ 286.
Zheng Jiandong, Wu Tiejun, Shang Qingqing. A classification algorithm for a tobacco leaf structure with image processing [J]. Journal of Donghua University: Natural Science, 2007, 33(3): 282 ~ 286. (in Chinese)
- 18 Rosenfeld A, Pfaltz J L. Sequential operations in digital picture processing [J]. Journal of the ACM, 1966, 13(4): 471 ~ 494.
- 19 高红波, 王卫星. 一种二值图像连通区域标记的新算法[J]. 计算机应用, 2007, 27(11): 2 776 ~ 2 777.
Gao Hongbo, Wang Weixing. New connected component labeling algorithm for binary image [J]. Computer Application, 2007, 27(11): 2 776 ~ 2 777. (in Chinese)
- 20 陈柏生. 一种二值图像连通区域标记的新方法[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(25): 46 ~ 47.
Chen Baisheng. A new algorithm for binary connected components labeling [J]. Computer Engineering and Applications, 2006, 42(25): 46 ~ 47. (in Chinese)
- 21 Samet H. Connected component labeling using quadrees [J]. Journal of the ACM, 1981, 28(3): 487 ~ 501.
- 22 Bhatyacharya P. Connected component labeling for binary images on reconfigurable mesh architectures [J]. Journal of Systems Architecture, 1996, 42(4): 309 ~ 313.
- 23 张晨光, 唐向阳, 迟毅林. 烟叶叶片结构的机器视觉检测系统[J]. 机电一体化, 2008, 14(11): 82 ~ 84.
Zhang Chenguang, Tang Xiangyang, Chi Yilin. Machine vision test system on stripped tobacco structure [J]. Mechatronics, 2008, 14(11): 82 ~ 84. (in Chinese)