

基于机器视觉的烟用接装纸几何参数测量系统的设计应用

洪深求¹,董浩²,李晓辉²,夏营威³,任海敏¹,刘锋²,张龙³,刘勇³

1 安徽省烟草质量监督检测站,合肥市桐城南路372号 230022

2 国家烟草质量监督检验中心,郑州高新技术产业开发区枫杨街2号 450001

3 中国科学院安徽光学精密机械研究所,合肥市蜀山湖路350号 230031

关键词: 接装纸; 孔线; 机器视觉; 模式识别

摘要: 采用光学投影测量仪测量烟用接装纸几何参数,依靠实验人员的目测定位待测目标和数据判读,检测效率和测量精度较低,为此设计了基于机器视觉的测量系统。该系统以机器视觉系统为基础,由检测平台和计算机两部分组成,系统采用嵌入式MCU控制步进电机驱动检测平台,相机连续采集待测纸样的图像,分析得到图像中存在边缘或孔线时,系统驱动运动平台将待测目标移动至定位基准点,通过增量式线性编码器记录载物运动平台的相对位置,经过运算获得待测纸样的相关测试结果。实验结果表明:基于机器视觉的烟用接装纸几何参数测量系统能够满足接装纸检测行业标准的要求,实现了对接装纸纸宽、孔线宽度以及孔线距边宽度的自动化精确测量,系统对激光打孔接装纸的识别率为100%,测量精度优于0.02 mm。

中图分类号: TS439 文献标识码: B 文章编号: 1002-0861(2011)04-0014-05

Design and Application of Geometric Parameter Measuring System for Cigarette Tipping Paper Based on Machine Vision

HONG SHEN-QU (1), DONG HAO (2), LI XIAO-HUI (2), XIA YING-WEI (3), REN HAIMIN (1), LIU FENG (2), ZHANG LONG (3), and LIU YONG (3)

1 Anhui Tobacco Quality Supervision and Inspection Station, Hefei 230022, China

2 China National Tobacco Quality Supervision & Test Center, Zhengzhou 450001, China

3 Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics of CAS, Hefei 230031, China

Keywords: Tipping paper; Hole line; Machine vision; Pattern recognition

Abstract: Because of the low efficiency and accuracy in measuring the geometric parameters of cigarette tipping paper with an optical projector. A measuring system was designed based on machine vision, which was composed of a test platform and a computer. The test platform was driven by an embedded MCU-controlled step motor. The images of tested samples were collected continuously by a camera. The tested object was moved by the platform to a benchmark, once paper edge or hole line appeared in the image. The relative position of platform was recorded by an incremental linear encoder and the test results of sample were obtained via operation. The experiment results showed that the measuring system was up to the industry standard for tipping paper test. It measured tipping paper width, hole line width, and the distance between hole line and paper's

基金项目: 安徽省烟草专卖局 2010年度科技计划项目“数字影像技术在烟草质量检验中的应用研究”(AHKJ2009-05);

国家烟草专卖局 2010年度标准制修订项目“烟用纸尺寸的测定(非接触式光学法)”(2010-59)。

作者简介: 洪深求(1966-), 硕士, 工程师, 主要从事烟草科技项目管理与烟草产品质量监督检验工作。 E-mail

325hong@163.com

收稿日期: 2010-09-29

责任编辑: 曹娟 E-mail yck@tobaccoinfo.com.cn

edge automatically and accurately. The system's recognition rate to laser perforated tipping paper is 100% and its measurement accuracy is better than 0.02 mm.

目前,在烟用接装纸几何参数的测定方法中,通常采用光学投影测量仪作为检测工具,依靠实验人员的目测,主观地定位待测目标和数据判读,使得检测效率和测量精度很难进一步提升。在国内尚未有开展卷烟接装纸几何参数自动化测量方法的相关研究工作,为此,基于机器视觉技术提出一种烟用接装纸几何参数的自动化检测方法,以满足行业需求。机器视觉作为一种成熟的非接触式检测手段,具有自动化程度高、算法柔性强和检测效率高等特点,已广泛运用于包括烟草在内的多种行业的精密检测^[1-3]。提出了针对激光打孔接装纸几何尺寸的自动化测量方法,采用机器视觉代替人眼,完成测量过程中图像的采集、识别和分析。采用闭环运动控制结构,配合增量式线性编码器,完成目标物与基准线的对准和数据读取,实现对接装纸几何参数的测定。

1 系统结构

1.1 系统组成

机器视觉系统通常由照明系统、图像采集系统、图像分析等组成^[1]。本系统以机器视觉系统为基础,由检测平台和计算机两部分组成,见图 1。检测平台包括图像采集系统、明场漫射背光照明系统、载物运动平台系统及其闭环控制系统。图像采集系统包括面阵 CCD 相机、镜头和图像采集卡;明场漫射背光照明系统包括朗伯 LED 光源、光栅、漫透射板和控制电路;载物运动平台系统包括嵌入式控制 MCU、增量式线性编码器、动力传动装置和防护装置等。被测纸样在移动载物台上经明场漫射背光照明,通过长焦镜头在 CCD 上成像,由图像采集卡将图像数字化,数字化后的图像通过一系列算法处理和模式识别,进而实现对接装纸纸边缘和孔线的精确定位。检测平台与计算机有两条通信通道,分别是图像数据通道和运动控制通讯通道(图 1),实现控制平台运动和数据采集。

1.2 测量原理

系统采用嵌入式 MCU 控制步进电机驱动检测平台,相机连续采集待测纸样的图像,分析得到图像中存在边缘或孔线时,系统驱动运动平台将待测目标移动至定位基准点,通过增量式线性编码器记录载物运动平台的相对位置,经过简单运算可获得待测纸样的相关测试结果。以两排孔为例(图 2),箭头方向为平台的移动方向,进入相机视野的依次为:边缘 1、孔线 1-1

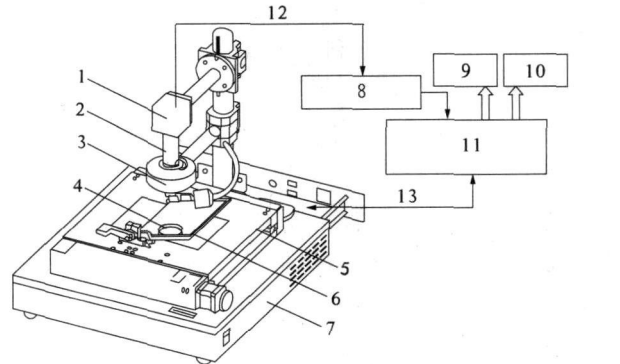
1、孔线 2-1、孔线 1-2、孔线 2-2 和边缘 2。光栅尺记录的当前位置分别为: w_b , k_{1-1} , k_{2-1} , k_{1-2} , k_{2-2} 和 w_2 , 则接装纸的纸宽 $w = |w_2 - w_1|$, 孔线距边的宽度 $k_k = \max(|k_{2-1} - w_1|, |w_2 - k_{1-2}|)$, 孔线宽度 $k_k = \min(|k_{2-1} - k_{1-1}|, |k_{2-2} - k_{1-2}|)$ 。

2 系统软件

运动控制和数据采集都由计算机完成,因此需要编写对应软件分析图像数据、实施控制和数据采集。由于 VC++ 进行图像处理编程具有速度快、安全性好、功能强大以及良好的可移植性等优点,系统采用了 VC++ 作为软件开发语言。基于系统硬件构成,设计了相应的软件架构和核心算法。软件算法的关键技术是图像分析,即接装纸待测部位的识别和定位。

2.1 图像预处理

为保证打孔接装纸几何参数测量精度,本测量方法要求图像预处理的滤波算法在滤除噪声的同时还能够保持边缘特征。滤波方法主要有线性平滑、自适应



1. CCD 2. 镜头 3. 顶光源 4. 背光源 5. 运动平台
6. 接装纸夹具 7. 控制部件 8. 图像采集卡 9. 显示设备
10. 打印设备 11. 计算机 12. 图像数据传输 13. 运动控制通信

图 1 接装纸几何参数测量系统示意图

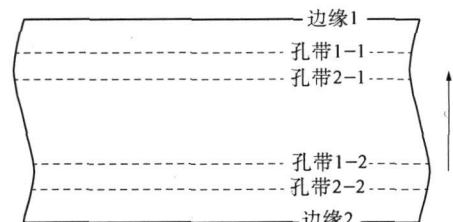


图 2 双排孔接装纸示意图

平滑、非线性平滑和中值滤波等。中值滤波是一种非线性信号处理方法,对脉冲干扰及噪声的抑制效果较好,在抑制随机噪声的同时能有效防止边缘模糊^[4-5]。

考虑到测量效率,本测量方法采用快速中值滤波算法。该算法是中值滤波的一种快速算法,将一个 $n \times n$ 的二维阵列简化为 $n+1$ 个仅含 n 个元素的一维阵列进行取中值运算。一次滤波只需 $\frac{1}{2}n(n^2-1)$ 次取中值计算,计算量减为原来的 $1/n$ 。设某个方形滤波窗口为:

$$\begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nn} \end{bmatrix}$$

该方法可表示为:

$$G_k = Median\{X_{k1}, X_{k2}, \dots, X_{kn}\}, k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$G = Median\{G_1, G_2, \dots, G_n\} \quad (2)$$

2.2 图像二值化分割

接装纸图像完成滤波后,在识别边缘或孔线前,还需要对图像进行二值化,通过该方法分割出待测图像和背景。图像分割的依据主要有两种:一是像素的灰度值;二是像素的梯度值。由于依据梯度的方法对图像会引入高阶噪声,不利于边缘的准确跟踪,故采用了依据灰度值的方法。该法选定一个像素灰度值作为阈值将图像二值化分割,实现简单,性能较稳定,具有较高的效率。

基于本系统的硬件构成可获得高对比度的待测纸样图像,其灰度直方图双峰较明显,采用迭代法求阈值 t 可以准确获得目标区域。迭代法是基于逼近思想,其步骤如下^[6]:

(1) 找出图像像素的最大灰度值和最小灰度值,分别记为 m 和 n ,令初始阈值 $t_0 = (m+n)/2$ 依据阈值 t_k 将图像分割为前景和背景两部分;

(2) 分别求出两者的平均灰度值 g_f 和 g_b ;

(3) 求出新阈值 $t_{k+1} = (g_f + g_b)/2$;

(4) $t_k = t_{k+1}$ 则所得即为阈值 t 否则令 $t_k = t_{k+1}$ 转步骤(2),迭代计算。

2.3 目标识别

算法的关键是对接装纸边缘和孔线边缘的准确识别,该识别精度(对准精度)直接影响到系统的测量精度。由于相机的视野范围约为 $5 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$,在电机移动过程中,依次进入视野的是上边缘、孔线(若干)、下边缘,正确判断目标形状后提取目标边缘才能进行

目标的准确定位。利用文献^[7]中的 Sobel算子检测出纸边和孔线的边缘,Sobel边缘检测算子是先做成加权平均,再微分,然后求梯度,即:

$f(i-1, j-1)$	$f(i, j-1)$	$f(i+1, j-1)$
$f(i-1, j)$	$f(i, j)$	$f(i+1, j)$
$f(i-1, j+1)$	$f(i, j+1)$	$f(i+1, j+1)$

$$\Delta G_i = f(i-1, j+1) + 2f(i, j+1) + f(i+1, j+1) - f(i-1, j-1) - 2f(i, j-1) - f(i+1, j-1) \quad (3)$$

$$\Delta G_j = f(i-1, j+1) + 2f(i-1, j) + f(i-1, j+1) - f(i+1, j-1) - 2f(i+1, j) - f(i+1, j+1) \quad (4)$$

$$G[f(i, j)] = |\Delta G_i| + |\Delta G_j| \quad (5)$$

以下的两个卷积核(图3)形成了 Sobel边缘检测算子,图3中的每个点都用这两个核做卷积,其中的一个核对通常的垂直边缘影响最大,而另一个对水平边缘影响最大。边缘检测算子的中心与中心像素相对应,进行卷积运算。两个卷积核的最大值作为该点的输出位。运算结果是一幅边缘幅度图像。

1	2	1
0	0	0
1	-2	-1

X方向算子

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

Y方向算子

图3 Sobel算子模板

将孔线边缘经过最小二乘法拟合成一条直线,设待测直线 $y = f(x) = a + bx$ 且 a, b 满足方程组

$$\begin{cases} na + \left(\sum_{k=1}^n x_k \right) b = \sum_{k=1}^n y_k \\ \left(\sum_{k=1}^n x_k \right) a + \left(\sum_{k=1}^n x_k^2 \right) b = \sum_{k=1}^n x_k y_k \end{cases} \quad (6)$$

由此可得到孔线边缘拟合直线的系数 a 和 b 。算法在判断孔线边缘的过程中需要满足相关检测标准的要求,能够分析出多条孔线的相对位置。利用文献^[8]中的 Hough变换可直接求得纸边缘的直线解析式进而确定纸边缘在图像坐标中的位置。图4和图5分别为最终检测到的边缘(白线表示)在系统源图像捕获窗口的实时重绘,结果显示能够准确识别目标对象。

3 试验对比和结果分析

按照所提出的测试方法搭建了实验平台,并在 Windows环境下使用 VC++ 作为开发语言编写了图像处理

和目标识别算法,对本方法的性能进行了对比试验。

3.1 测量系统准确度评价

为了评价基于机器视觉检测方法的准确度及优越性,设计了一组对比试验,使用该方法 and 人工测量分别对一块标准板进行测试。经过计量单位检定的标准板(9.871 mm)在试验平台上进行15次人工测量,结果见图6,15次自动测量结果见图7,图中的误差线取值为0.02 mm。

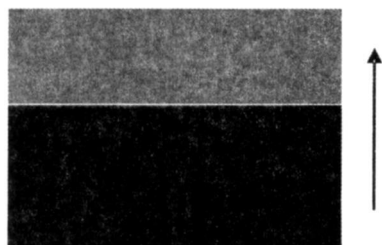


图4 接装纸边缘

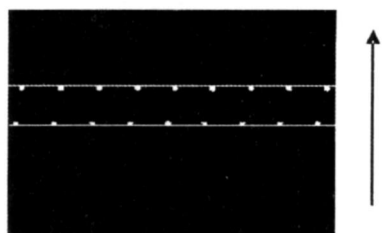


图5 孔线边缘

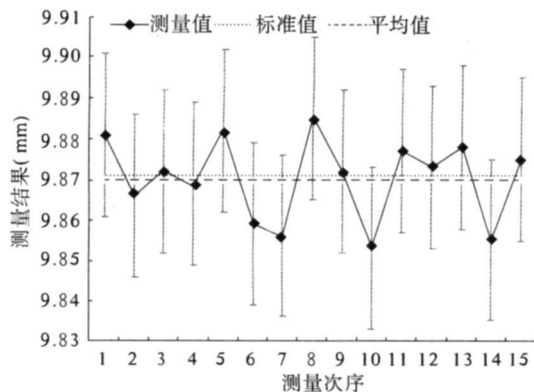


图6 人工测量标准板误差分析

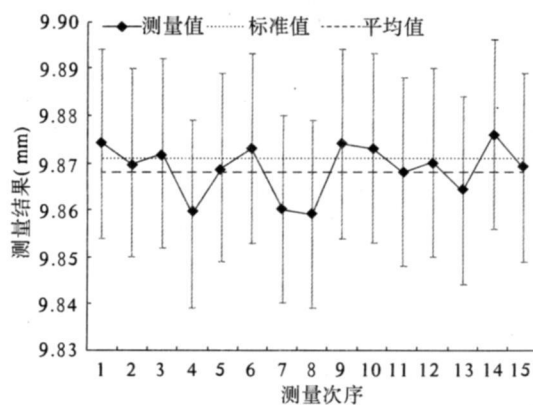


图7 自动测量标准板误差分析

表1 人工测量与机器视觉法测量结果统计对比 (mm)

	平均值	误差	标准偏差	重复性限
人工测量	9.87	-0.001	0.0103	0.029
机器视觉法	9.869	-0.002	0.0057	0.016

表2 2排孔和4排孔接装纸重复测量20次数据统计

(mm)

类型	2排孔			4排孔		
	平均值	标准偏差	单次最大误差	平均值	标准偏差	单次最大误差
孔线宽(左)	1.14	0.003	0.01	3.74	0.006	0.01
孔线距边宽(左)	12.01	0.007	0.01	12.50	0.010	0.01
孔线宽(右)	1.23	0.004	0.01	3.72	0.005	0.01
孔线距边宽(右)	12.00	0.007	0.01	12.85	0.011	0.01
纸宽	47.91	0.006	0.01	48.00	0.011	0.01

用统计方法分析上述试验结果,并利用近似重复性标准差为此样本标准偏差,计算了两种方法的重复性限,统计结果见表1。可见,两种测量方法的准确度都较高,但人工测量的数据离散性更大,导致重复性限比机器视觉法大,所以机器视觉法的测量精度更高。表1数据可见,机器视觉法的重复性限为0.016 mm,该值小于预期的设计精度0.02 mm,因此可判定该方法的准确度较高,测量精度达到了设计要求。

3.2 系统的可靠性评价

为了验证本测量方法的可靠性,分别对Q1、2、4排孔接装纸进行了20次重复实验。实验结果见表2和表3。采用统计学理论分析试验结果可得,标准偏差最大值为0.011,单次最大误差均为0.01 mm,系统最大误差稳定在0.01 mm,表明本系统具有较高的可靠性。

类型	0排孔			1排孔		
	平均值	标准偏差	单次最大误差	平均值	标准偏差	单次最大误差
孔线距边宽(左)	—	—	—	19.67	0.007	0.01
孔线距边宽(右)	—	—	—	20.10	0.005	0.01
纸宽	54.03	0.007	0.01	68.03	0.005	0.01

3.3 误差分析

本系统设计的目标精度是 0.02 mm。设计中选用了分辨率为 0.001 mm 的光栅尺作为增量式线性编码器, 保证其示值精度高于测量精度一个数量级。选用像面尺寸大、高分辨率镜头配备低噪声、靶面小的百万像素 CCD 相机, 保证图像的分辨率、清晰度和边缘畸变控制在目标精度范围内。通过标定的方法可消除照明产生的图像误差、对准误差和坐标系误差等。实验平台采用高精度加工手段, 选用精密螺纹丝杠, 最大限度减小运动平台及传动部分引入的误差。采用亚像素精度算法, 进一步提高图像目标的定位精度。

4 结语

基于机器视觉技术的烟用接装纸几何参数测量系统, 解决了行业内接装纸几何参数检测难度大、检测精度低等问题, 在传统的光学投影测量仪基础上, 利用机器视觉技术, 自动控制运动平台搜索、定位待测目标, 实现对接装纸几何参数的自动化、高精度测量。经过大量实验, 并引用统计学理论对试验结果进行分析, 得出本系统测量精度为 0.01mm, 重复精度为 0.016mm,

目标识别率为 100%, 表明了本系统具有较高的测量精度和可靠性, 能够满足接装纸检测标准^[9]的要求。

参考文献

- [1] 许琳, 曹茂永, 冯秀霞. 图像测量技术及其在无损检测中的应用 [J]. 电子测量技术, 2008, 31(1): 137-141.
- [2] 张向阳, 张进武, 覃志宏, 等. 基于机器视觉技术的卷烟小包封签直线检测算法 [J]. 烟草科技, 2008(3): 22-24.
- [3] 刘荣辉. 机器视觉系统在 GDX2 包装机组中的应用 [J]. 烟草科技, 2005(11): 10-11.
- [4] 于殿泓. 图像检测与处理技术 [M]. 西安: 电子科技大学出版社, 2006.
- [5] 张勇, 陈大建. 两种改进型中值滤波算法比较 [J]. 光电技术应用, 2010, 25(1): 67-70.
- [6] 毕贵红, 刘永清. 基于图像测量的香烟滤棒在线检测系统 [J]. 微计算机信息, 2007, 23(4-1): 162-164, 168.
- [7] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, S. L. Edition. 数字图像处理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [8] 高守传, 姚领田. 数字图像处理与工程应用 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 2006.
- [9] YC 171-2009 烟用接装纸 [S].