

# 卷烟烟支圆周成像测量算法的研究

徐国现 陈 圣 王茂方 崔六琼

(红云红河集团会泽卷烟厂, 云南 曲靖 654200)

**摘要** 目的: 当前的主流卷烟设备均无卷烟烟支的在线监测设备, 而安装的圆周在线监测设备多为气压型或光栅型, 其测量结果会受到气压波动和灰尘堵塞等干扰, 且测量准确率较低。我们在烟支运输点上加装了一套可视化监测装置, 该装置可对卷烟烟支圆周进行实时监测。方法: 本论文以 OpenCv 视觉库和微软 MFC 框架为基础, 开发了一套卷烟烟支圆周监测软件, 该系统采用保边降噪、快速寻边、断点拼接、弧长积分、类均值计算等方法计算周长, 可以实现卷烟烟支周长的自动检测与显示。结果: 实验证明, 该方法的识别精度达到 96.59%。结论: 具有高精度、稳定性强和可扩展功能的特点, 可有效地监测卷烟圆周质量指标。

**关键词** 烟支成像 快速寻边 断点拼接 弧长积分 圆周检测

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1007-0745(2022)11-0079-03

随着我国烟草工业的快速发展, 烟草行业的规模也在不断地扩张, 大型烟草公司的竞争日趋加剧。建立高质量的名牌, 优化品牌结构, 特别是高端卷烟更是如此, 提升产品品质是提升企业的核心竞争力。品质是一个公司的生存之道, 制作精美的卷烟是每一家烟草公司的奋斗目标。生产高品质、零缺陷的卷烟, 既能增强卷烟的品牌形象, 又能扩大卷烟的消费者群体, 增强卷烟的核心竞争能力, 烟支圆周指标是卷烟的一项关键参数。

## 1 卷烟烟支圆周成像测量技术发展现状

卷烟烟支圆周成像是实现烟草行业质量控制的关键环节, 其准确高效的测量是卷烟质量控制中至关重要的环节。利用多参数采集技术可以实现对卷烟烟支的检测。对烟支圆周成像测量是一项有效且可靠的检测方法。采用光学成像法可以精确获得烟支检测位置的精确度更高、误差更小。本文主要研究了检测技术原理和关键技术及设备设置。

卷烟烟支检测是卷烟质量控制中不可或缺的环节, 其准确高效的测量是卷烟质量控制中至关重要的环节, 通过对烟支圆周成像测量来精确获得烟支检测位置信息, 对提高卷烟质量具有重大意义。当前国内外关于烟支圆周成像测量算法有较多方面探讨。本文研究基于 CCD 光学设备对烟草烟支圆周成像测量技术原理和关键技术。采用多种成像方法进行分析, 对卷烟烟支

的圆周成像测量方法进行研究, 并对其进行改进和提升。该方法主要通过改变烟支在图像上的位置, 并根据这一位置对烟支进行图像处理、测量和分析。在测量过程中获取各参数值, 利用这些参数来确定物体的轮廓形状, 以确定烟支圆周轮廓。

对于烟支圆周成像检测, 卢腾达、赵海玉等前辈已有研究, 基于 OpenCV 的成像方式检测不需要旋转烟支, 过程为图像预处理、阈值分割、椭圆拟合, 椭圆如何转换到圆周的计算过程有待完善, 另外这种角度的成像只能拍摄到烟支的局部变形图像, 不能很好地代表烟支的圆周, 其过程见下文<sup>[1]</sup>:

《基于图像处理的卷烟圆周检测方法研究》一文中其过程为指数变换、中值滤波、局部阈值分割、开操作运算、采用 LabVIEW 软件和系统的图像处理工具包, 通过测量卷烟圆周不同方向上的直径, 求出相应的半径, 然后按弧长公式计算此段的弧长, 对圆 360 等分, 求出每 1 份的弧长, 求和后即得总周长。该方法拍摄图像能够很好代表烟支圆周, 但在弧长计算时采用了  $L=n\pi R/180$  公式<sup>[2]</sup>, 实际运用中发现, 烟支的截面图像与圆相差甚远, 圆心如何确定, 边缘断裂的地方如何处理等方面没有明确, 该方法实施起来有一定困难。

## 2 烟支圆周检测系统组成

该系统由烟支取样模块、图像采集模块、图像处理模块、周长计算模块、人机交互模块组成。通过烟

★基金项目: 本论文由红云红河烟草(集团)有限责任公司《卷烟烟支物理指标及外观自动在线监测系统》科技项目(编号: 2021GY07)资助。

支取样模块将烟支移动到测量工位,将环形光源置于烟支点火端截面的正前方,再将相机置于光源的正后方,保证烟支、环形光源和相机在同一轴线上,烟支移模块触发光源点亮,随后触发相机连续拍摄20帧图像,关闭高亮度的环形光源。所生成的图像连续传送至计算机进行图像加工<sup>[1]</sup>。

图像采集模块主要由大恒MER-2000-5GM相机、远焦无畸变显微镜头和光源组成,设置相机参数后,将相机的5192\*3672分辨率的原始图像裁剪成3672\*3672分辨率的正方形图像,通过USB3.0接口将3672\*3672图像数据传送给计算机进行图像处理,1350万像素的正方形灰度图像使得烟支点火端的截面图像细节更加清晰;烟支的直径是7.73毫米<sup>[4]</sup>,在卷烟的固定工作状态下,以3672个像素中的3000个像素为基准,卷烟烟支的直径测量精度准确地控制在 $7.73/3000 \approx 0.0026$ 毫米,这大大降低了烟支圆周的技术需求。采用计算机图像运算后以保证系统的高精度。本系统使用高亮的内径25mm、外径50mm、发光角度75°的环形LED均匀光源,配合黑色背景和高清工业相机获得较高的成像质量,更能凸显烟支截面似圆轮廓边缘细节,以便对烟支圆周进行测量<sup>[5]</sup>。

图像处理模块包括保边降噪、快速寻边和断点拼接。

周长计算模块包括弧长积分、类均值计算、标定换算。

人机交互模块负责过程图形展示、重要参数设置和测量结果显示。系统组成见下文所述。

### 3 图像处理模块

#### 3.1 保边降噪

在烟支图像采集、编码、传输等方面,由于外界环境、设备等原因,往往会产生一定的噪声,从而影响图像的辨识和图像的视觉判断,会给以后的图像分析带来很大的麻烦,所以,降噪对卷烟进行预处理是一项非常重要的工作,在图像处理技术中,通常采用图像滤波技术以达到对图像进行抑制或去除的目的,以减少由噪声引起的不利效应,改善影像品质。但是在降噪的同时,像均值滤波、中值滤波等方法会丢失重要边缘信息,所以在选择降噪方法的同时还需要保存边缘突出信息,否则不能准确找出烟支的截面轮廓,使其更加贴近实际。为了得到精确的尺寸,必须进行如下的处理:一是对图像进行降噪处理,剔除一些孤立的无效点,特别是在有真实边缘处。二是对卷烟的边界进行提取,当图像亮度存在差异时,若采用绝对

灰度法进行边界判断,则会产生较大的偏差,而采用平均方差法进行边界的计算,则可以得到较好的结果<sup>[6]</sup>。

#### 3.2 快速寻边

在本课题中,烟支轮廓边缘是最重要的信息,由于每秒需要处理完20张左右的1350万像素高清图,处理过程复杂,传统能够的搜寻算法为全图扫描,大大增加了计算机的运算载荷,几乎不能完成,因此探索了一种更为快速的边缘寻找算法,该算法完成了常规的阈值化和轮廓查找两项功能,大大减少了搜寻范围,步骤如下:

(1) 设置8个向量为 $v_1(-1,0)$ 、 $v_2(-1,1)$ 、 $v_3(0,1)$ 、 $v_4(1,1)$ 、 $v_5(1,0)$ 、 $v_6(1,-1)$ 、 $v_7(0,-1)$ 、 $v_8(-1,-1)$  ( $v_1$ 至 $v_8$ 顺时针旋转), $Q=3*H/4$  ( $H$ 为图像高度)。

(2) 从图像 $Q$ 行开始向水平方向行扫像素点,找到第一个大于设定阈值(参数)的像素点作为边缘的起始点记为 $p_0(x_0,y_0)$ 装入边缘点容器 $VL$ 的 $VL[1]$ , $P=p_0$ , $N=n=1,v=v_1,cn=0$ 。

(3)  $p=P,N=N-1$  (若 $N=0$ ,则 $N=8$ ), $v=v_N$  (逆时针旋转45°)。

(4)  $p=p+v$  (向量加),若 $p$ 与 $p_0$ 的距离小于设定值,结束;若 $p$ 像素点的灰度大于设定阈值,则 $P=p,n=n+1$ ,将 $P$ 点坐标装入边缘点容器 $VL$ 的 $VL[n]$ ,进行(3);否则进行(5)。

(5)  $cn=cn+1$ ,若 $cn=8,Q=Q+1$ ,进行(2),否则 $N=N+1$  (若 $N=9$ ,则 $N=1$ ), $v=v_N$  (顺时针旋转45°),进行(4)。

算法解释:借助 $v$ 从 $v_1$ 至 $v_8$ 赋值,再加上 $P$ 点坐标,即可实现以 $P$ 为中心向该点的8个顺时针方向寻找 $P$ 的邻接像素点,若找到大于设定阈值的像素点,将该点坐标装入边缘点容器 $VL$ ,随后 $v$ 向量逆时针旋转45°后45°步进顺时针寻找邻接点,若8个方向均未找到,那么该点为孤立点,再次移动搜索起始点,如此循环,当搜索再次回到 $p_0$ 附近,搜寻结束。

#### 3.3 断点拼接

课题实施中遇到了一个困难,由于烟支截面图像轮廓边缘总会有部分边缘不清晰的现象(被烟丝遮挡),若只按3.2节中的快速寻边算法进行搜索,会搜索到烟支内部,内部的烟丝就像迷宫一样,该算法就失效了,因此在上述基础上还应该加入断点感知和拼接算法。

(1) 断点感知:设置三个坐标点 $A(x_1,y_1)$ 、 $B(x_2,y_2)$ 、 $C(x_3,y_3)$ ,当边缘点群数量达到设定参数 $N$  (本课题 $N$ 设置为50)的2倍后,此时已经找到第 $n$ 个边缘点,将 $A$ 点坐标记为 $VL[n-2*N]$ ,将 $B$ 点坐标记

为  $VL[n-N]$ , 将 C 点坐标记为  $VL[n]$ , 当  $AB \cdot BC = (x_2 - x_1) * (x_3 - x_2) + (y_2 - y_1) * (y_3 - y_2) < 0$  时, 说明 B 点出现了转折, 也就是断点。

(2) 断点拼接: 当感知到断点后, 删除 VL 中 BC 之间的边缘点, 将直线 AB 延长至整张图的边缘, 以直线 AB 上的点为起点, 从 AB 的法向量方向图像中心搜索 (需要在设定的进入距离 LJR 参数内搜索), 当搜寻到符合阈值的边缘像素点后, 本项目采用贝塞尔曲线插值的方式将断点边缘进行拼接, 补全断裂的边缘并存入边缘点容器 VL。

将 VL 边缘进行毛刺剔除, 最小二乘法拟合后所得的弧线轮廓, 该轮廓越贴近实际, 测量结果越准确。

## 4 周长计算模块

### 4.1 弧长积分

通过图像处理模块, 烟支点火端截面图像边缘轮廓每一像素点的坐标已经存入 VL 容器中, 获得轮廓的每一像素点位置  $(x, y)$ ; 逐一将两像素点的距离进行累加求和, 两像素点间的距离  $d_i = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}$ , 因采用 2000 万像素图像来拍摄直径约为 7mm 的烟支断面, 可以近似认为两像素点间的距离  $d_i$  等价于弧长  $l_i$ ;  $d_i$  即等价无穷小于  $l_i$ 。则弧长积分公式为:  $C = \int_1^N l_i = \sum_{i=1}^N d_i = \sum_{i=1}^N \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}$ 。该方法建立在微积分的数学模型上, 理论上可以计算任意不规则图形的周长。

### 4.2 类均值计算

通过连续计算 20 张照片的弧长后, 为避免单次测量的不可靠性, 普通做法是将该 20 个数据做均值运算, 本课题采用的使先将该 20 个数据进行排序, 丢弃最大和最小的 8 个值, 然后再取中间的 12 个值做均值运算作为最终结果。

### 4.3 周长换算

由于图像处理算法是以像素为计算单位, 而实际应用中要根据给定的烟支圆周标准数值来判定烟支是否合格, 因此需将检测出的圆周像素值转换成圆周的数值。为确定圆周像素值与圆周实际数值的转换公式, 选择 30 支香烟样品, 分别用圆周检测仪和图像处理算法进行检测, 将实测值与检测像素值采用最小二乘法进行拟合, 得到二者的一元回归方程如下:

$$Y = 0.00141195X + 10.46517 \quad (1)$$

式中: Y 为圆周检测值; X 为圆周像素值。

将转换式 (1) 加入算法程序即可得到烟支圆周的检测值。

对式 (1) 得到的检测值进行分析, 可得检测值的

平均值为 24.21mm, 标准差为 0.0631; 烟支圆周实测值的平均值为 24.21mm, 标准差为 0.0653 进行对比, 两者平均值相同, 标准差相近, 表明检测方法有效。按照会泽卷烟厂的烟支生产技术标准, 在生产过程中, 卷烟烟支的周长必须在  $(24.20 \pm 0.15)$  毫米) 以内, 为了验证所用的图像加工技术的卷烟周边检测方法的准确性, 选择不同品牌的香烟样品各 1000 支进行测试, 以实验室圆周检测仪检测出的不合格烟支数量为标准。

本检测方法的检出率 (即准确率) 为 96.59%。与试验机所测的结果进行比较, 结果表明, 该方法的准确度为 96.59%, 错误为 3.41%, 符合烟草企业的检验标准。这种偏差主要是由于光源偏移、相机校正和图像处理算法等因素造成的, 并在以后的工作中加以完善。

## 5 结语

本课题对基于图像处理的卷烟圆周质量检测的一些关键性技术进行了研究, 该卷烟烟支周长测量系统采用了保边降噪、快速寻边、断点拼接和弧长积分方式实时监测卷烟烟支圆周, 并有超限提醒和标定能力, 可以测量任意不规则形状的周长特性, 能够测量圆度不理想的烟支圆周, 监测结果可以按要求进行存储。通过本课题的研究, 可以对烟草生产过程中的卷烟烟支进行实时的在线监测, 对改善烟草产品的品质起到了重要作用。本文主要针对卷烟周边品质监测的核心技术如图像加工等进行了深入的探讨, 运用 OpenCV 和微软 MFC 框架优势, 采用 C++ 语言完成了卷烟圆周检测的软件设计, 测试的正确率达 96.59%。通过改进和扩充可以运用到测量任意不规则图像的周长, 研究内容还存在需要完善的地方, 例如一开始搜寻第一个点就遇到了断点的情况, 还没有做妥善处理。

## 参考文献:

- [1] 卢腾达. 基于 OpenCV 的香烟圆周检测 [A]. 上海: 上海大学机电工程与自动化学院, 2016.
- [2] 赵海玉. 基于图像处理的卷烟圆周检测方法研究 [A]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2011.
- [3] 戴昕. 激光法测量滤棒和卷烟烟支圆周的原理 [J]. 计测技术, 2015, 35(05): 60-63.
- [4] 田倩如. 滤棒圆周在线检测关键技术的研究与应用 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2015.
- [5] 韦德芬. 卷烟圆周仪测量结果的不确定度分析 [J]. 中国测试, 2014(S1): 159-160.
- [6] 刘学, 梁杰申. 基于 ARM 的卷烟烟支嘴棒圆周的检测及其控制 [J]. 微计算机信息, 2007(14): 137-138, 103.