

水松纸在线检测系统设计

赵凡¹, 李银华², 王博³, 姜克森³

(1.广州华立科技职业学院, 广州 511325; 2.郑州轻工业学院, 郑州 450002;

3.河南中烟工业有限责任公司, 郑州 450016)

摘要: **目的** 针对烟支卷制完成后出现的水松纸质量缺陷等问题, 结合生产实际要求, 设计基于 PLC 和机器视觉的水松纸在线检测系统。**方法** 采用线阵相机对图像进行采集, 工业计算机利用 Vision-Pro 图像处理软件进行图像处理, 采用 SIFT 改进算法简化图像处理过程, 实现对水松纸质量的在线检测, 同时完成参数设定、状态监控和数据记录等功能。**结果** 实际运行结果表明, 成品烟合格率由 92% 提高到 100%。**结论** 系统运行可靠, 可与现有系统配合实现在线监测, 减少了原材料的浪费, 提高了成品烟支合格率。

关键词: 水松纸; 机器视觉; 在线检测; PLC; SIFT 算法

中图分类号: TP751; TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)09-0165-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.09.029

The Design of On-line Measuring System of Tipping Paper

ZHAO Fan¹, LI Yin-hua², WANG Bo³, JIANG Ke-sen³

(1.Guangzhou Huali Science and Technology Vocational College, Guangzhou 511325, China; 2.Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China; 3.Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450016, China)

ABSTRACT: The work aims to design the online detection system for tipping paper based on PLC and machine vision, in combination with the actual production requirements, regarding such problems as quality defect of tipping paper occurring after the cigarette production. Line-array cameras were used to collect images. Industrial computer processed the images with the image processing software Vision-Pro and simplified the image processing course with the improved SIFT algorithm. The quality of tipping papers was detected online. Meanwhile, parameter setting, condition monitoring, data recording and other functions were completed. The actual running results indicated that, the percent of pass of the finished cigarettes was improved from 92% to 100%. The reliably operated system can collaborate with the existing system to achieve the online monitoring, which reduces the waste of raw materials and improves the percent of pass of the finished cigarettes.

KEY WORDS: tipping paper; machine vision; online detection; PLC; SIFT algorithm

随着卷烟生产中卷、接、包设备机械化和自动化水平不断提高, 烟支质量在线检测技术要求也随之增加。水松纸上的汉字或字母不完整, 水松纸的花纹错位等问题, 致使企业出现 B 类、C 类质量缺陷^[1]。国内学者在卷接包各个环节进行了研究, 如烟包喷码检测系统^[2]、卷烟包装检测系统^[3]和水松纸输送系统^[4]等, 在水松纸质量检测上提出了多种检测方法, 如水松纸纠偏技术^[5]、水松纸在线上胶量检测^[6]等。水松纸质量在线检测, 还未见相关研究。为此, 拟在 ZJ17

上增设一套水松纸在线检测装置。基于机器视觉技术的水松纸在线检测系统, 利用 Vision-Pro 图像处理软件和改进 SIFT 特征提取算法进行图像处理, 实现烟支水松纸在线检测, 提高烟支质量。

1 系统组成

系统对进入 ZJ17 卷接机组的水松纸进行在线检测, 对已粘贴有含缺陷水松纸的烟支可利用 ZJ17 剔

收稿日期: 2017-11-30

作者简介: 赵凡 (1989—), 硕士, 女, 助教, 主要研究方向为智能控制系统与电力系统自动化等。

除系统进行剔除。系统在本配置一独立电控柜,控制整个检测过程,实现与上位机通讯,完成设备联动及故障报警,并向上位机上检测工况参数,进一步提高卷接机组自动功能和系统控制精度。

采用机器视觉对高速运行的水松纸进行在线质量检测,克服了人眼视觉疲劳与个体差异性问题。对于人类视觉无法感知的场合如精确定量感知、高速画面感知、危险场景感知等^[2],适用于该系统。

1.1 系统功能要求

对检测的目标物-水松纸质量要求有:印刷的商标完整,不可出现笔画缺失;不可出现直径大于 0.6 mm 的污迹;如有 2 种不同颜色的底色印刷,其印刷边界线允许偏差 ± 0.05 mm。另外 ZJ17 额定生产速度是每分钟 7000 支卷烟,检测系统不能影响原有系统运行,且不允许出现漏检现象。

1.2 系统结构方案

ZJ17 中水松纸供给共分 12 道工序,分别是装入纸盘→接纸→检测→卷曲水松纸→牵引→轴向对正→上胶→抬纸→检测→预热→切割→分离,其中 2 道检测工序分别针对水松纸是否有拼接段和上胶与否进行检测,目的是为设备正常运行所设置,对于其质量问题并未进行检测,改进后系统将在卷曲之前对质量进行检测。水松纸质量检测系统组成框图见图 1。

其中控制器与执行、采集部件等传递信息通过工业以太网 PROFINET 进行,由 PLC 作为主控制器,并与厂内 MIS 系统和次品剔除系统进行信息传递,具体网络构成见图 2。

水松纸质量检测系统通过工业以太网 PROFINET 与卷烟机组控制系统进行连接,采用西门子 STEP7 和 WinCC 组态软件进行编程和上位机监控,完成数据采集和指令控制。上位机监控系统设定工艺流程画面,根据系统要求完成权限登陆、参数设定、状态监控、实时显示、数据记录、系统报警、报表打印、数据查询等功能,通过工业以太网 PROFINET 取得底层检测、执行部件状态等,根据工艺要求编写控制程序,完成设备检测及执行任务。

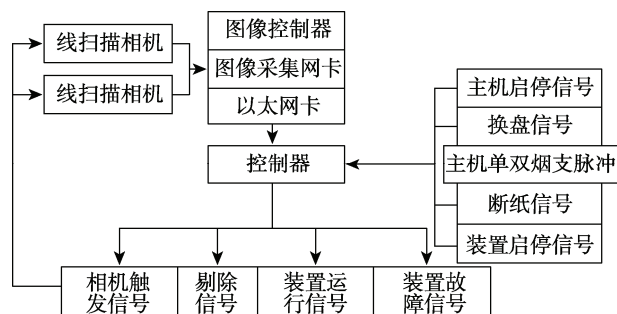


图1 水松纸质量检测系统组成

Fig.1 Composition of quality detection system of tipping paper

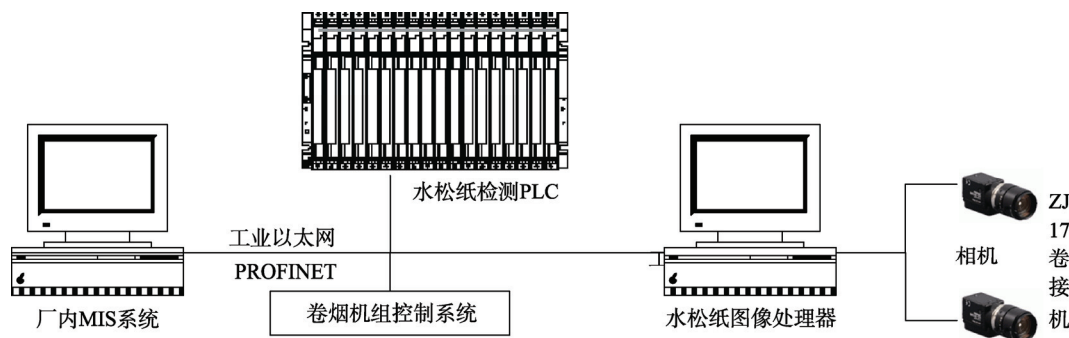


图2 系统网络构成

Fig.2 Composition of system network

1.3 软硬件平台构建

在硬件选型上选用目前高端的 i7 处理器、8 G 内存、2 TB 硬盘配置工业计算机作为图像处理器,西门子 S7-300 的 CPU315-2PN/DP 作为主控制器,BASLER 的 raL2048-48gm 黑白线扫描相机,Intel® Ethernet I340 Server Adapter, FUJINON 工业镜头 LFC-CF12.5, CA-dZ*15 线型光源和 OP-87329 透光扩散单元。光源控制器选用 KEYENCE 的 CA-DC100 型照明控制器。Intel 的 PRO/1000 PT 双端口服务器网卡连接相机和计算机。

软件选用 STEP7 V5.4 实现程序编辑,WinCC6.0 组态软件实现组态控制,Vision-Pro 实现对采集图像处理。

2 关键技术实现

2.1 图像采集系统构成

每支卷烟的标准直径为 7.8 mm,周长为 24.5 mm。水松纸的长度为 27 mm,这是因为水松纸多了 2.5 mm 的粘贴长度,每张水松纸用以卷制 2 支烟。水松纸在供给时是以纸带的方式向主机供应,主机完成对水松纸切割,ZJ17 额定工作速度为每分钟 7000 支烟。则:

$$\text{每秒用水松纸长度} = [(7000/60)/2] \times 27 = 1575 \text{ mm} \quad (1)$$

在设计时工作速度应高于 1575 mm/s,以保证检

测精度，因此实际应用中用于设计速度不低于 1.7 m/s。在此速度下，每张水松纸经过某一固定位置时间是 15.89 ms。在 15.89 ms 内应完成一张水松纸“拍摄”→“传输”→“处理”→“输出”过程。

在实际运行中，水松纸是以纸带形式连续供给，在使用单台相机拍摄一幅图像时，会出现不完整的字符或商标图案。图像处理时，易产生漏检和误检现象，因此，对图像完整性提取是检测系统必须解决的难题。为此，提出了双相机方案，采取 2 个相机重叠视野方法来解决料带偏动与图像不完整问题，具体实现方案见图 3。相机 2 中偏出的位置在相机 1 中已经检测过，保证了检测无死区与图像采集的完整性。

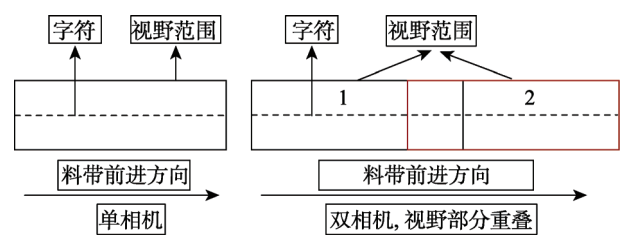


图 3 单相机、双相机方案对比
Fig.3 Comparison of single-camera and double-camera schemes

线阵相机的优点是速度快，分辨率高，可以实现运动物体连续检测，利用外部现场实际信号进行图像采集，可适应工业现场机器运行速度的变化^[7]。系统中对拍摄时机（电子快门动作的时机）选择要求严格，且生产过程中现场情况较复杂，机器运行速度多变、图像起始位置不确定性等问题均需考虑在内。

2.2 图像处理过程

水松纸检测成功与否关键是看所采集到图像处理结果是否符合要求，若与标准图像一致直接送去卷接区，否则将在卷接完成后将此烟支剔除。

采用 Vision-Pro 软件进行图像处理，Vision-Pro 中 CogPMAAlignTool 工具对图像进行特征搜寻。搜寻图像尺寸越小，像素数越少，图像质量越好，处理时间越少。首先进行作业编辑，将工具与相机拍到的图像特征进行关联。然后对图像进行模式训练，以达到最佳处理效果。模式训练完毕，进行图像处理试运行，试运行中，可以对工具参数配置进行修改和细调。

在图像处理过程中采用特征匹配方法，针对目标图像采集关键点，Vision-Pro 中目标定位工具可在在图像中快速地找到所需要的特征进行特征提取，然后与标准图像进行匹配，其测量工具可测量图像中各检测特征之间的位置尺寸是否达到要求。Vision-Pro 独有的字符识别工具采用了 OCV（光学字符验证）技术，不仅可以对字符内容进行识别，还可检测质量、对比度和清晰度，适用于水松纸上商标的完整性检

测。图案检测工具可判断图像中的图案特征的完整性；瑕疵检测工具可检测图像中是否有缺陷印刷或脏污存在；边缘检测工具可判断水松纸的边缘是否平直。

图像处理采用 SIFT 改进算法提取图像特征点。SIFT 算法具有很好的鲁棒性^[8]，但提取特征向量维数较高，计算量大，需对 SIFT 算法改进，进行降维处理，算法流程见图 4。另外 SIFT 算法可实现在海量特征中进行快速选择并且视角的变化也不会影响图像采集，满足系统对烟支进行快速检测的要求。

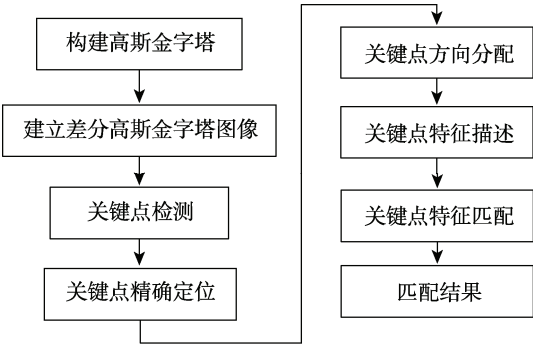


图 4 图像处理算法流程
Fig.4 Flow of image processing algorithm

针对该系统图像处理目的为将水松纸上的汉字或字母不完整，水松纸的花纹错位及水松纸贴合不牢等问题检测出来。首先对图像进行初步检测，建立简化尺度空间，利用高斯差分金字塔图像可将所有潜在的特征点找到，根据局部特征对其进行定位，为每个关键点分配一个基于局部图形属性方向，得到关键点的方向和位置等信息，建立以关键点为中心的圆形特征区域^[9]。圆形特征区域保证了稳定性，不需再进行领域角度调整。最后根据得到的关键点和特征区域，生成简化的特征点描述子，得到维数降低的特征向量，将相机实时所拍图像与原图像进行关键点特征匹配，得到两图像特征匹配度^[10]，并将此数值传递到水松纸质量检测 PLC，PLC 将此数值与基准匹配度相比较，得出此段水松纸是否有质量问题。

2.3 软件结构系统

检测系统的软件结构由 3 层组成，主要包括上位机监控系统、图像处理系统和 STEP7 应用控制系统^[11]。

检测系统如果直接从工业现场拾取信号并控制输出时，可以单独运行，并不影响原机的运行。实际上，该检测系统并不能从现场直接获得所有的信号，这是因为，ZJ17 的电控系统有许多非标准件。在网络架构选择时，所有使用的外部信号，都通过工业以太网与主机人机进行通讯获取。ZJ17 原有总线控制系统仍采用 PROFIBUS 总线和 CAN 总线进行各种数据的采集和各种控制。检测系统应用程序主要基于 STEP7 编程，使用 OB1、OB35、OB100 等组织块，按

照检测流程,确定系统中各功能模块的先后次序及连锁关系,实时分析 PLC 输入信号、输出信号的逻辑关系,完成图像采集、处理、判断和信息显示、报警等功能,实现水松纸在线检测。其图像采集与处理流程见图 5。从图 5 可以看出系统检测完毕后将次品剔除。系统将剔除信号送到加装的 PLC 输出端而不再送到原主机的剔除阀上^[12],加装 PLC 输出端再将剔

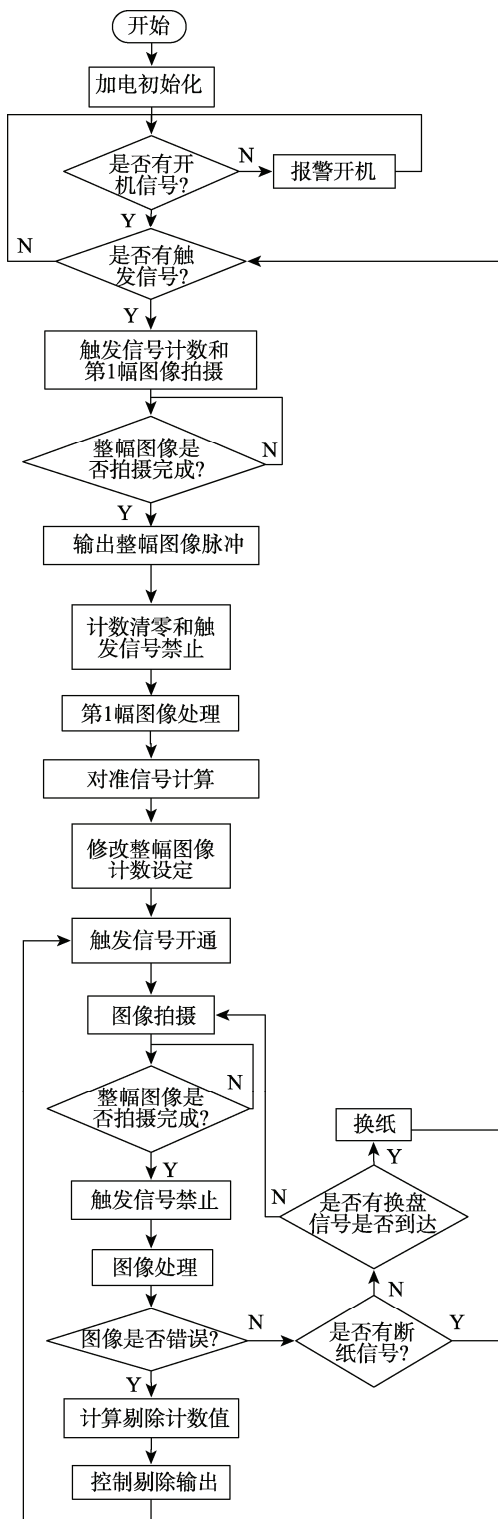


图 5 图像采集与处理流程

Fig.5 Flow of image capture and processing

除信号送给 ZJ17 剔除阀。ZJ17PLC 输出的剔除信号做为中断子程序,将 ZJ17 剔除口处的水松纸剔除信号与 ZJ17 发来的信号相或^[13],其结果立即送输出控制剔除,即 2 个信号有任意 1 个信号为 1 则实现剔除动作。

2.4 次品剔除的实现

图像处理完毕后,需对次品烟支进行剔除,如何保证剔除的准确性,该系统采用脉冲计数法实现对次品烟支的定位,完成次品剔除。

检测装置 PLC 对双支脉冲(DCP)进行计数,而 DCP 脉冲来自 ZJ17 主机定时盘的光电开关 B14.3。定时盘每转 1 周产生一个 DCP 脉冲,而产生 20 个单烟支脉冲(MCP)。接装机的所有鼓轮上的烟支从上一个工位旋转 to 下一个工位,定时盘旋转 1 周^[14]。

每当加装的计数器产生一个整图脉冲,说明有 1 幅图像已拍摄完成,并离开拍摄区。整图脉冲之后接收的第 1 个 DCP 脉冲表明刚拍摄完成的水松纸的初始位置。系统运行时一张水松纸从拍摄结束位置走到剔除口期间,计数器能够收到的 DCP 脉冲是固定的(即从拍摄结束那一条线开始到剔除口之间的水松纸的总长度除以每张水松纸的长度后得到的值),因此根据接收 DCP 脉冲的个数即可对任一张水松纸进行定位^[15]。

PLC 收到 1 个 DCP 脉冲,立即产生 1 个新的标记,在 PLC 程序中标记的是 DB0.DBW0。下一个 DCP 脉冲来到, DB0.DBW0 的值放入 DB0.DBW1,再来一个则放入 DB0.DBW2,以此类推。这样, DB0.DBW0 表示刚刚拍摄的水松纸的位置,紧挨的这张水松纸的上一张水松纸的现实位置是 DB0.DBW1,因此,若拍摄结束位置到剔除口之间有 120 张水松纸,则 DB0.DBW120 始终表示这张水松纸处于剔除口位置。DB0.DBW12 表示此张水松纸的后边缘已离开拍摄起始线 12 张水松纸的距离。

3 系统调试与应用效果

工程系统安装调试非常重要,系统设计完成后,需要在实际运行中不断试验^[16],得到最佳设计效果。特别是关于机器视觉检测系统,相机需要经过反复调试,才能找到最佳安装位置,采集到最佳图片,水松纸质量检测系统安装见图 6。

系统工作时,控制器通过计算编码器信号驱动相机工作,并由 Vision-Pro 对拍摄到的水松纸图片进行图像处理。双相机分别对水松纸两侧进行拍摄,每拍摄 1 次,图像有 4 张水松纸,其长度为 108 mm (27 mm×4)。每幅图像需扫描线数=每张水松纸的长度(27 mm)×4(4 张)×20(每像素点为 0.05 mm, 1 mm 就是 20 个像素点)=2160 线。线阵相机每扫描 2160 线就将其划分为 1 幅图像,控制器产生整幅图像命令,

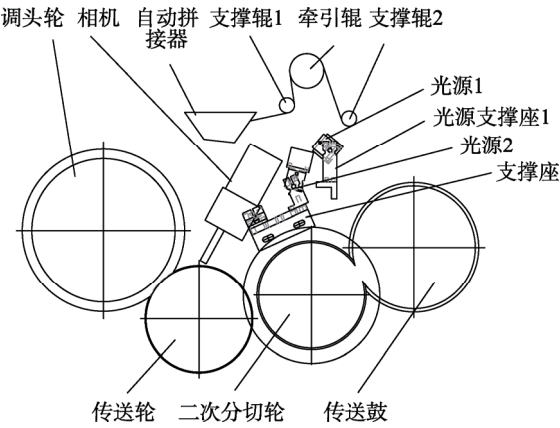


图 6 水松纸质量检测系统安装

Fig.6 Installation of quality detection system of tipping paper

切断向相机传送的编码器信号。相机暂停拍摄，编码器信号清零后重新计数，为下幅图像采集准备。

经过测试，每幅图像采集与处理时间为 55 ms，4 张水松纸从拍摄位置通过的时间为 $15.89\text{ ms}\times 4=63.56\text{ ms}$ ，能够满足检测系统需求。现场观察与测绘后发现，相机应安装在水松纸前进方向的水平垂直方向下方。

相机位置确定后，需进行程序调试。对一段水松纸质量进行试检测，先由人工得出此段水松纸质量合格情况和次品情况。然后在图像处理过程中，记录这段水松纸上每幅图像处理过程中得到匹配度，经过统计，得出次品和合格品匹配度界限值，并把此数值作为基准匹配度和系统分析次品依据，保证系统可靠运行。

在系统实际运行前，将基准匹配度写入程序，系统上电运行，将每次图形处理得到的特征匹配度与基准值相比较，高于此值，则此图像属于合格品，否则为次品，并将结果传递给 PLC，发出剔除命令。图像处理运行界面见图 7。

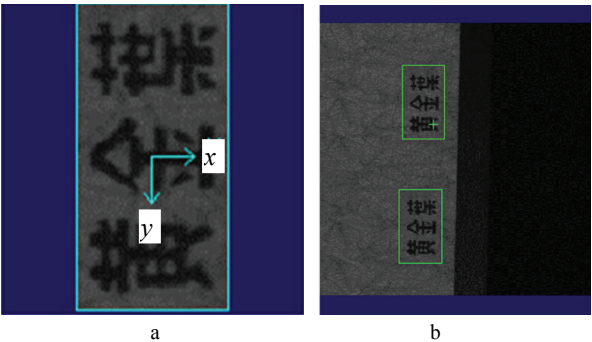


图 7 图像处理运行界面

Fig.7 Running interfaces of image processing

水松纸质量检测系统完成调试后，在河南中烟工业有限责任公司新郑卷烟厂进行了验收，系统运行可满足水松纸分切的速度，抽检不同生产时间的 8 批次共计 10 万支烟支结果见表 1。根据实际运行情况和抽检结果，水松纸检测结果成功率由原本的 92% 提高为 100%，满足项目技术要求，未出现漏检与错检问题。

表 1 系统验证结果
Tab.1 Result of system verification

数据种类	检测系统统计	人工统计	检测成功率/%
污迹缺陷	3	3	100
字符缺陷	2	2	100
金线缺陷	1	1	100

4 结语

分析了现有卷接机存在的不足，针对项目技术要求和生产实际要求进行改进，加入了水松纸检测系统，由工控机对图像进行处理，PLC 根据处理结果发出相应指令。采用改进的 SIFT 算法使得系统检测快速、精准，该项目已投入运行，实际运行结果表明：该系统运行可靠，分拣正确率可提高到 100%，减少了原材料的浪费，提高了产品的合格率，达到了方案设计的预期目的。

参考文献：

[1] 邢军. 解析 GB 5606.3—2005《卷烟包装、卷制技术要求及贮运》[J]. 烟草科技, 2005(11): 45—48.
XING Jun. Analysis of GB 5606.3—2005《Cigarette Packaging, Rolling Technical Requirements and Transportation》[J]. Tobacco Science & Technology, 2005(11): 45—48.

[2] 孙军, 张振华. 烟包喷码图像自动检测控制系统的设计与应用[J]. 烟草科技, 2010(7): 17—19.
SUN Jun, ZHANG Zhen-hua. Design and Application of Automatic Ink-jet Printed Code Inspection and Control System for Cigarette Packet[J]. Tobacco Science & Technology, 2010(7): 17—19.

[3] 乔建军, 刘兵胜, 栗勇伟. GD 包装机条包烟外包装完好性在线检测系统[J]. 烟草科技, 2013(4): 26—27.
QIAO Jian-jun, LIU Bing-sheng, LI Yong-wei. Online Cigarette Carton Monitor in GD Packing Line[J]. Tobacco Science & Technology, 2013(4): 26—27.

[4] 胡新路, 刘俊. PASSIM 卷接机组水松纸输送系统的改进[J]. 科技信息, 2012(3): 230—231.
HU Xin-lu, LIU Jun. Improvement of PASSIM Tipping Paper Conveying System[J]. Science & Technology Information, 2012(3): 230—231.

[5] 张建勋, 王志勇. 新型水松纸纠偏技术在卷烟接装机上的应用[J]. 科技资讯, 2011(2): 53.
ZHANG Jian-xun, WANG Zhi-yong. Application of a New Tipping Paper Error Correction for Cigarette Splicing Machine[J]. Science & Technology Information, 2011(2): 53.

[6] 钦华. 电容式卷烟机水松纸在线上胶量检测装置[J]. 科技世界, 2013(21): 74—75.
QIN Hua. Detection Equipmen of On-line Quantity of Cement of Tipping Paper for Capacitor Cigarette Ma-

- chine[J]. Science Word, 2013(21): 74—75.
- [7] 刘娟. 基于线阵相机的目标探测性能研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2014.
LIU Juan. Target Detection Performance of the Research Based on Linear Array Camera[D]. Xi'an: Xi'an Technological University, 2014.
- [8] 冯嘉. SIFT 算法的研究和改进[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
FENG Jia. The Research and Improvement of SIFT Algorithm[D]. Changchun: Jilin University, 2010.
- [9] JANE C C, LAIH Y W. A Clustering Algorithm for Item Assignment in a Synchronized Zone order Picking System[J]. European Journal of Operational Research, 2005, 166(2): 489—496.
- [10] 王博. 水松纸视觉检测系统设计[D]. 郑州: 郑州轻工业学院, 2015.
WANG Bo. Research on Tipping Paper Visual Detection System[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University of Light Industry, 2015.
- [11] 胡向东, 刘京诚, 余成波. 传感器与检测技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
HU Xiang-dong, LIU Jing-cheng, YU Cheng-bo. Sensors & Testing Technology[M]. Beijing: China Machine Press, 2009.
- [12] FRANCI L, ROK B, et al. Machine Vision System for Inspecting Electric Plates[J]. Computers in Industry, 2002(47): 113—122.
- [13] CHANG C Y, CHUNG P C. Two-layer Competitive Based Hopfield Neural Network for Medical Image Edge Detection[J]. Optical Engineering, 2000, 39(3): 695—703.
- [14] PFEIFER T, WIEGERS L. Reliable Tool Wear Monitoring by Optimized Image and Illumination Control in Machine Vision[J]. Measurement, 2000(28): 209—218.
- [15] MAHMOUD I K, MOHAMED M B. Invariant 2D Object Recognition Using the Wavelet Modulus Maxima[J]. Pattern Recognition Letters, 2000, 21(9): 863—872.
- [16] 王永华. 现代电气控制及 PLC 应用技术(第 2 版)[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2008.
WANG Yong-hua. Modern Electrical Control and The Application of PLC Technology[M]. Beijing: Press of BUAA, 2008.