基于多光谱分析的烟包外观检测系统

沈涛[1]，李峰[2]，任森[1]，杨锰[1]
（1.红云红河烟草（集团）红河卷烟厂，弥勒 652399；2.云南远足科技有限公司，昆明 650051）

摘要：目的 为了解决卷烟厂在烟包外观检测中，包装纸与透明纸难以同时检测的难点，设计一种对称式多光谱分析的烟包外观检测系统，以用于 FX-2 型包装机。**方法** 该系统选用可调式支架、稳定的 LED、高速多光谱 CCD 光源来捕获卡槽中烟包的待测面，将获取的多光谱图像传入高性能工控机，并对各子带图像联合进行处理。**结果** 该系统可以通过一次成像同时检测包装纸和透明纸。**结论** 该系统结构合理，易于安装与维护，检测精度高，参数可调，系统稳定可靠。

关键词：机器视觉；多光谱成像；图像处理；烟包检测
中图分类号：TB486 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2019)05-0214-05
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.05.030

Cigarette Packet Appearance Detection System Based on Multispectral Analysis

SHEN Tao[1], *LI Feng*[2], *REN Sen*[1], *YANG Meng*[1]
(1.Hongyun Honghe Tobacco (Group) Honghe Cigarette Factory Co., Ltd., Mile 652399, China;
2.Yunnan Yuanzu Technology Co., Ltd., Kunming 650051, China)

ABSTRACT: The paper aims to solve the difficulty of simultaneous detection of packaging paper and transparent paper in cigarette factory and design a symmetrical multi-spectral analysis system for the appearance detection of cigarette packages to be used in FX-2 packaging machine. Adjustable bracket, stable LED and high-speed multi-spectral CCD light source were selected for the system to capture the cigarette pack surface to be measured in the chute. The multi-spectral image obtained was transmitted to high-performance industrial computer, and the sub-band images were processed jointly. The system could detect packaging paper and transparent paper simultaneously. Conclusion: The system has reasonable structure, easy installation and maintenance, high detection accuracy and adjustable parameters. It is a stable and reliable system.

KEY WORDS: machine vision; multispectral imaging; image processing; cigarette packet detection

目前各卷烟厂都会利用机器视觉对产品进行检测，对于小包烟盒的检测一般分 2 步：在包装纸包装好后做 1 次检测，此时只检测包装纸，在透明纸包装好并经过熨烫后再做 1 次检测，此时只检测透明纸[1]。原因主要是 2 次检测的成像内容不同，反光效应导致 1 次拍摄很难同时成出清晰易检的图像[2]。包装纸检测合格的烟包在包装透明纸的过程中可能造成二次损伤，单检透明纸时无法检测出二次损伤的不合格烟包，使得产品的合格率无法得到保障，烟厂迫切需要一种能够同时检测包装纸和透明纸的装置[3]。文中在深入研究烟包外观成像的基础上，设计一种基于多光谱分析的烟包外观检测系统，攻克透明纸与包装纸成像对光源要求不同的难点[4]。在支架的配合下，相机、光源均可自由调节，配合分时拍摄技术与多光谱分析技术，通过对某一待测面的一次曝光即可获得多子带图像，通过对各子带图像的处理，可以分别提取出烟

收稿日期：2018-11-08
作者简介：沈涛（1973—），男，红云红河烟草（集团）红河卷烟厂助理工程师，主要研究方向为电气设备的维护与改造。

包包装纸和透明纸的图像。

1　系统总体设计方案

系统主要由采图、控制、运算三大模块构成，见图 1。采图模块主要包含支架、CCD、光源，控制模块主要包含 I/O 卡、PLC，运算模块主要包含工控机、显示器[5]。控制模块是该系统的枢纽，PLC 获取 FX-2 的脉冲信号与角度信号，直接控制 CCD 与光源的触发，同时通过 I/O 卡与工控机进行通信，获取剔除信号并反馈给 FX-2 的控制系统。采图模块的结构设计成对称式分布，悬于 FX-2 包装机导轨上方，CCD 和光源的高度以及角度均可调整[6]，分别拍摄双通道不同工位上的烟包待测面。运算模块的工控机采用 Windows 系统，界面使用 QT 编写，可以调整检测参数并显示实时运行状态。

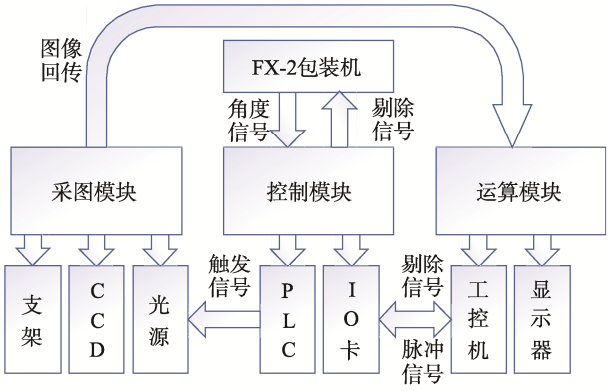


图 1　系统总体示意

Fig.1 General schematic diagram of system

2　系统硬件设计

2.1　采图模块

支架整体效果图见图 2，支架整体悬于导轨上方，布局合理，恰好罩在双通道 6 个工位的上方，共包含 8 组 CCD 与其配套的光。CCD 为多光谱相机，拍摄的图像可分为不同的子带；光源采用白色条形光源，光谱分布均匀充分，可以模拟自然光；支架上设有多个空槽，便于各部件高度与角度的调整，表面做哑光处理，避免光路反射干扰[7]。当烟包从美容器出来后，共需经过 6 个工位，不同的 CCD 拍摄不同工位上的待测面，每个烟包通过前 4 个工位即可拍摄出烟厂要求的 4 个检测面的全部图像。当烟包运动到第 5 个工位时，即可计算出是否存在质量缺陷[3]。

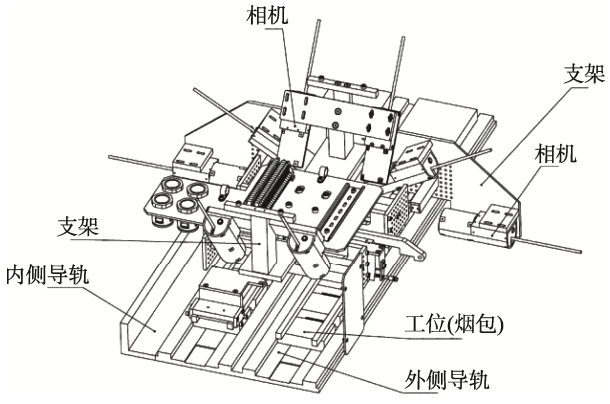


图 2　支架整体示意

Fig.2 Overall schematic diagram of scaffold

在图 3 所示的一种检测结构中，光源悬于烟包待测面的上方约 50 mm，偏离烟包待测面约 10 mm，光源光路不射向烟包待测面，而是射向镜头方向，并保持大约 20°的逆时针角度。在这种情形下，烟包待测面的包装纸和透明纸可以同时生成较好的图像。

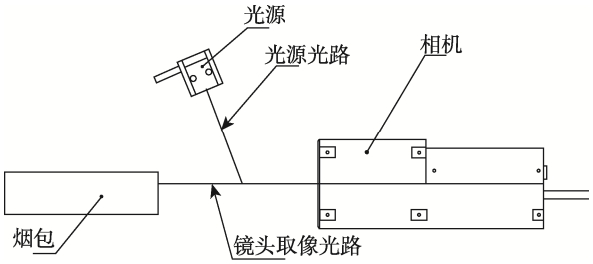


图 3　采图光路示意

Fig.3 Sketch map of mining road map

2.2　控制模块

该模块采用西门子 200 型 PLC，接受 FX-2 中控传输过来的角度信号，并对其进行解析。角度落在一定范围内时，导轨会停止运动，此时 PLC 向采图模块发送触发信号，由于光源空间结构对称，为避免拍摄时临近光源的相互干扰，PLC 在不同的时刻发送 2 组触发信号，一组用于外侧通道的 CCD、光源，另一组用于内侧通道。同时 PLC 负责将 I/O 卡传来的剔除信号实时反馈给 FX-2 中控系统，FX-2 会在自带的剔除系统中将不合格烟包准确剔除。

I/O 卡用于工控机与 PLC 的通信。对于输入端，PLC 在向采图模块发送触发信号同时，也向运算模块发送脉冲信号，以便运算模块判断图像回传是否成功，这一步非常重要，可以称之为信号同步，信号同步不仅可以将 CCD 传回的图像与待测面准确匹配，而且可以自动纠正 Windows 内部因延时响应造成的时序错误[4]。对于输出端，I/O 卡将运算模块的剔除信号实时发送给 PLC。

2.3　运算模块

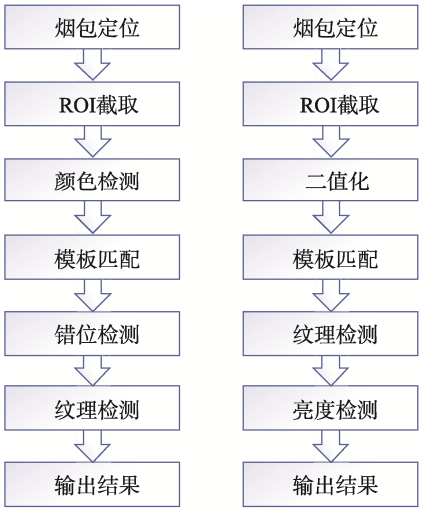
该模块采用高性能工控机，可以胜任长期不间断运行，内插有 2 张千兆以太网卡和 1 张 I/O 控制板卡，2 张网卡接受 8 个 CCD 传回的图像。操作系统采用 Windows，算法库调用 HACLON[8]，界面采用 QT 编

写，便于调整参数与状态的实时显示。

3　烟包图像处理

3.1　图像处理基本流程

烟包外观检测在烟厂已经使用了十几年[9]，需要检测的部位及其匹配的算法都非常成熟，在人工智能引入外观检测算法前，常用的包装纸和透明纸检测流程分别见图 4。



a 包装纸　　b 透明纸

图 4　常用检测流程

Fig.4 Commonly used detection flow

颜色检测包含灰度能量分析、直方图统计等，常用于检测包装纸是否有内衬纸外露。错位检测常用于检测开口是否翻开。模板匹配一般可以检测透明纸的拉线与拉口。纹理检测可以检测包装纸的商标破损，透明纸的粘合异常。亮度检测可检测包装纸的褶皱和透明纸的起泡[10]。该系统中的烟包在固定的工位中，通过一次曝光，即可获取多子带图像，提取出包装纸和透明纸的图像后即可运用上述流程同时进行各类检测。

3.2　多光谱处理原理

多光谱图像是指包含很多带的图像，有时只有 3 个带（彩色图像就是一个例子），但有时要多得多，甚至上百个。每个带是一幅灰度图像，它表示根据用来产生该带的传感器的敏感度得到的场景亮度，每个独立子带都是在不同光谱下成像的灰度图像，最简单的多光谱图像就是彩色图像。该系统中的多光谱图像就是采用传统的 RGB 彩色图像，彩色相机的 CCD 可分为 R，G，B 三通道传感器，所成的彩色图像可依次划分为 R，G，B 子带图像[11]。设 R 通道下的子带图像为 $f_R(x,y)$，G 通道下的子带图像为 $f_G(x,y)$，B 通道下的子带图像为 $f_B(x,y)$，检测过程中的目标灰度图像为 $f_D(x,y)$。

1）当 $f_D(x,y)$为彩色图像转灰度图像时：

$$f_D(x,y)=f_R(x,y)\times 0.299+ f_G(x,y)\times 0.587+f_B(x,y)\times 0.114 \tag{1}$$

由于图像中每个像素点都参与运算，所以运算量特别大，其中涉及了浮点数的乘加运算，为了减少资源消耗，提高运行效率，实际操作中使用式（2）。

$$f_D(x,y)=\{f_R(x,y)\times 11+f_G(x,y)\times 16+f_B(x,y)\times 5\}/32 \tag{2}$$

式（2）中的乘除法在编译器优化时很容易分解成移位运算，效率很高。

2）当 $f_D(x,y)$为单独的 $f_B(x,y)$转灰度图像时，有 2 种转化方式：

$$f_D(x,y)=\{f_R(x,y)\times 0+f_G(x,y)\times 0+f_B(x,y)\times 5\}/32 \tag{3}$$

$$f_D(x,y)=f_B(x,y) \tag{4}$$

第 1 种方式是将 $f_R(x,y)$子带和 $f_G(x,y)$子带的像素值都置 0，此方式纹理清晰但是图像能量小，显得非常暗。第 2 种方式是直接将 $f_B(x,y)$的像素值赋予灰度图 $f_D(x,y)$，此方式的图像纹理线较清晰但背景干扰较大。

3）当 $f_D(x,y)$为加权混合灰度图时[12]，设 R 子带的权值为 ω_R，G 子带的权值为 ω_G，B 子带的权值为 ω_B；ω_R，ω_G，$\omega_B\in[0,1]$且 $\omega_R+\omega_G+\omega_B=1$。

$$f_D(x,y)=f_R(x,y)\times\omega_R+ f_G(x,y)\times\omega_G+f_B(x,y)\times\omega_B \tag{5}$$

4）当 $f_D(x,y)$为定值混合灰度图时[13]，设 R 子带的定值为 Ψ_R，即每个像素点的数值固定为 Ψ_R，使能为 E_R。当 E_R 为 1 时表示不使用该子带的原始图像数据而使用定值 Ψ_R；当 E_R 为 0 时表示使用该子带的原始图像数据而不使用定值 Ψ_R。G 子带的定值为 Ψ_G，使能为 E_G，B 子带的定值为 Ψ_B，使能为 E_B。Ψ_R，Ψ_G，$\Psi_B\in[0,255]$且 E_R，E_G，E_B 取 0 或 1。

$$f_D(x,y)=\{[f_R(x,y)\times(1-E_R)+\Psi_R\times E_R]\times 11+ [f_G(x,y)\times(1-E_G)+\Psi_G\times E_G]\times 16+ [f_B(x,y)\times(1-E_B)+\Psi_B\times E_B]\times 5\}/32 \tag{6}$$

通过 4 组公式，可以得到各个子带在任意一种混合模式下的目标灰度图像。

4　系统检测效果分析

4.1　图像成像效果

对于烟包底面，当目标灰度图像 $f_D(x,y)$按式（2）计算时，成像效果见图 5a，包装纸上的字迹清晰可见，透明纸的边缘轮廓也非常清晰，此时的 $f_D(x,y)$可用于检测透明纸的纹理信息，同时可以兼顾检测包装

纸。图 5b 中的 $f_D(x,y)$按式（3）计算所得[14]，是单独提取 B 子带图像生成，与紫光照射下的图像非常相似，可用于检测透明纸表面的平整度，如果透明纸表面是平整的，那么图像将非常暗，只能看见透明纸的边框，一旦透明纸起泡、褶皱，图像在缺陷处将变得明亮。

a

b

图 5　底面包装纸与透明纸检测示意
Fig.5 Schematic diagram on detection of bottom wrapping paper and transparent paper

烟包侧面的示意见图 6，此面的拉线与拉口是重点检测对象，图 6a 中拉线与拉口的轮廓非常清晰，图 6b 中图像很暗，一旦拉线或拉口翘起，相应部位会变得明亮[15]。

a

b

图 6　侧面包装纸与透明纸检测示意
Fig.6 Schematic diagram on detection of side wrapping paper and transparent paper

在实际应用中，根据光源位置与支架光路反光情况，可以调整式（3）和式（6）中的参数，使得包装纸与透明纸的成像都非常清晰易检。

4.2　缺陷检测类型

该系统通过 CCD 的一次曝光，可以同时得到包装纸和透明纸的清晰图像，主要可以检测的缺陷见表 1。

表 1　检测缺陷
Tab.1 Defect detection

序号	包装纸缺陷	透明纸缺陷
1	褶皱	气泡、褶皱
2	上翻盖破损	拉线有无、错位
3	内衬纸外露	拉口变形
4	侧面脱胶、翘起	底面粘合错位
5	包装错位	侧边粘合错位
6	字迹变形	透明纸外溢

5　结语

文中所设计的基于多光谱分析法的小包烟盒外观检测系统，在合适的光照角度下，通过一次曝光，可以生成灰度图像来检测包装纸与透明纸，也可以提取 B 子带图像来检测透明纸的平整度，理论速度可以达到双通道 600 包/min，各类缺陷检测效果良好，解决了烟厂包装纸与透明纸难以同时检测的难点。该系统一旦推广开来，不仅具有很强的实用性，提高了包装机烟包外观检测的效率，而且增强了品牌市场竞争力，带来很好的经济效益。

参考文献：

[1] 刘朝营, 许自成, 闫铁军. 机器视觉技术在烟草行业的应用状况[J]. 中国农业科技导报, 2011, 13(4): 79—84.
LIU Chao-yin, XU Zi-Cheng, YAN Tie-jun. Application of Machine Vision Technology in Tobacco Industry[J]. Review of China Agricultural Science and Technology, 2014, 13(4): 79—84.

[2] 陈恩, 房华, 易强, 等. GDX2 和 FOCKE701 硬盒包装机硬盒包装纸压痕参数的设计[J]. 烟草科技, 2016, 49(1): 72—77.
CHEN En, FANG Hua, YI Qiang, et al. Design of Indentation Parameters for Hard Box Paper of GDX2 and FOCKE701 Hard Box Packaging Machine[J]. Tobacco Science and Technology, 2016, 49(1): 72—77.

[3] 刘小波, 谢志江, 许积飚, 等. 一种小包烟包装质量在线检测仪设计[J]. 现代科学仪器, 2009(6): 39—41.
LIU Xiao-bo, XIE Zhi-jiang, XU Ji-biao, et al. Design of An Online Quality Detector for Small Package Cigarette Quality[J]. Modern Scientific Instruments, 2009(6): 39—41.

[4] EL-GAMAL A, ELTOUKHY H. Cmos Image Sensors [J]. IEEE Circuits and Devices Magazine, 2005, 21(3):

6—20.

[5] 张立勋, 徐邓, 郑启旺, 等. 烟条外观检测主控系统设计[J]. 电气与自动化, 2012, 41(2): 174—176.
ZHANG Li-xun, XU Deng, ZHENG Qi-wang, et al. Design of Main Control System for Tobacco Appearance Detection[J]. Electrical and Automation, 2012, 41(2): 174—176.

[6] 徐岩, 史燕琼. 线扫描缺陷检测系统中的 LED 光源设计[J]. 光学与光电技术, 2011, 9(3): 28—30.
XU Yan, SHI Yan-qiong. Design of LED Light Source in Line Scanning Defect Detection System[J]. Optics and Photoelectric Technology, 2013, 9(3): 28—30.

[7] 周奎田, 古劲声, 刘全. 超高速包装机组 FOCKE779 条烟透明纸整形装置的改进[J]. 烟草科技, 2014(4): 39—42.
ZHOU Kui-tian, GU Jin-sheng, LIU Quan. Improvement of FOCKE779 Tobacco Transparent Paper Shaping Device for Ultra-high Speed Packaging Unit[J]. Tobacco Science and Technology, 2014(4): 39—42.

[8] GOTTESFELD B L. A Survey of Image Registration Tech-niques[J]. ACM Computing Surveys, 1992, 24(4): 325—376.

[9] 曾文艳, 王亚刚, 蒋念平, 等. 基于机器视觉的香烟小包装外观质量检测系统[J]. 信息技术, 2014(1): 46—49.
ZENG Wen-yan, WANG Ya-gang, JIANG Nian-ping, et al. Detection System for Appearance Quality of Cigarette Small Package Based on Machine Vision[J]. Information Technology, 2014(1): 46—49.

[10] 杨少荣, 吴迪靖, 段德山. 机器视觉算法与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015.
YANG Shao-rong, WU Di-jing, DUAN De-shan. Machine Vision Algorithm and Application[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2015.

[11] HARALICK R M, SHAPIRO L G. Computer and Robot Vision[M]. Reading: Addison-Wesley, 1992.

[12] JAIN R, KASTURI R, SCHUNCK B G. Machine Vision[M]. New York: McGraw-Hill, 1995.

[13] 李弼程, 彭天强, 彭波. 智能图像处理技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2014.
LI Bi-cheng, PENG Tian-qiang, PENG Bo. Intelligent Image Processing Technology[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2014.

[14] SEN D, PAL S K. Thresholding for Edge Detection in SARImages[C]// International Conference on Signal Processing, Communications and Networking, Chennai, 2008: 311—316.

[15] 章毓晋. 图像工程(上册): 图像处理和分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
ZHANG Yu-jin. Image Engineering(I): Image Processing and Analysis[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009.