

基于机器视觉的食品内包装缺陷检测 装置设计与实现

Design and realization of the food inner packaging detection device based on the machine vision

贾真真¹ 张 涛² 曹兴强² 曾 建³ 李 晓¹ 姚二民¹

JIA Zhen-zhen¹ ZHANG Tao² CAO Xing-qiang² ZENG Jian³ LI Xiao¹ YAO Er-min¹

(1. 郑州轻工业学院食品与生物工程学院, 河南 郑州 450000; 2. 河南中烟工业有限责任公司南阳卷烟厂, 河南 南阳 473000; 3. 深圳三叶草科技开发有限公司研发部, 广东 深圳 518000)

(1. College of Food and Bioengineering, Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou, Henan 450000, China;
2. Nanyang Cigarette Factor, China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Nanyang, Henan 473000, China;
3. Shenzhen Clover Technology Development Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000, China)

摘要:为解决食品包装机生产过程中内包装质量缺陷等问题,基于机器视觉原理设计食品内包装缺陷检测装置。该装置主要由图像采集、图像处理及判断与剔除等系统组成,使用超小型 CCD 相机对包装材料的内部缺陷进行扫描,通过 PLC 程序实现对缺陷包装的判别和剔除。以内衬纸为例,利用不同程度缺陷内衬纸及 FLUKE 热成像仪,对机器视觉装置进行内衬纸缺陷剔除率及机械部件运行情况的测试。结果表明:采用机器视觉的检测装置较好地解决了生产过程中缺陷内衬纸漏检及检测效率低等问题,各类型缺陷内衬纸检测准确率高达 95%,研发后缺陷烟包白班减少了 13.3 包/月、前夜班减少了 8.4 包/月、后夜班减少了 8.0 包/月,降低了缺陷烟包量,提高了设备运行的稳定性,所有仪器均满足长期稳定运行的要求,实现了包装质量的闭环式自动检测技术。

关键词:机器视觉;食品包装;内衬纸;缺陷检测

Abstract: In order to solve inner packaging caused by food packaging machine faults, a food inner packaging detection device was designed based on the machine vision. The device was mainly composed of image acquisition, image processing system, judging and eliminating system. Depending on ultra-small CCD cameras to detect inner liner, at the same time the defective inner liner was determined and rejected via PLC program. By adopting different defective inner liner and FLUKE thermal imager, the detection rates of the machine vision

and the stability of the equipment were tested. The results showed that the detection accuracy of the machine vision based device for defective inner liner reached 95%. After development, the defective cigarette packs on white shift, eve shift and night shift reduced by 13.3, 8.4 and 8.0 packs per month, respectively, and all instruments met the requirements of long-term stable operation.

Keywords: machine vision; food packaging; inner liner; defective detection

在食品生产行业,包装可按产品层次分为内包装、二级包装、三级包装、外包装等^[1],大部分产品都是多层包装,如糕点、固体饮料、果蔬制品、真空包装肉制品等,因此在对食品进行多层包装时,对其内包装进行质量检测是极其重要的。但在实际生产过程中,食品包装机会因原辅材料、机械振动等非正常因素导致包装材料褶皱、破损等质量缺陷。目前中国主要依靠人工对产品包装的质量进行检测,但这种方式耗费大量人力物力,且检测精度低、处理速度慢^[2]。近几年迅速发展的机器视觉技术,是利用计算机技术来实现人类视觉感知功能的一种手段,李萌等^[3]将机器视觉用于食品包装检测系统中,提出一种食品包装检测系统,实现了矩形纸质食品包装 6 个面的缺陷检测;薛延学等^[4]也将计算机视觉应用于印刷包装品缺陷检测系统中,实现了基本的缺陷检测。但目前的检测局限于某一类食品包装检测,且存在误判等问题,检测精度有待进一步提高,内衬纸作为食品包装材料的一种,与卷烟制品有着直接的接触,为此,以内衬纸为例,基于机器视觉原理设计了食品内包装缺陷检测装置,以期确保从根本上实现对内包装材料破损、皱褶、缺失等质量缺陷检测,提高系统生产的稳定性。

基金项目:河南省科技攻关计划项目(编号:142102210639);郑州轻工业学院 2017 年研究生教育创新计划基金项目(编号:2017021)

作者简介:贾真真,女,郑州轻工业学院在读硕士研究生。
通信作者:姚二民(1961—),男,郑州轻工业学院教授,本科。
E-mail: 46440195@qq.com

收稿日期:2018-02-02

1 系统组成

1.1 系统结构

基于机器视觉的食品内包装缺陷检测装置主要由图像采集系统、图像处理系统及判断与剔除系统组成。图像采集系统包括相机、光源等,图像处理系统的主要部件为图像控制器,判断与剔除系统则由输出控制 PLC(Programmable Logic Controller)完成。其中:① 图像的采集设备采用 KEYENCE 公司的 CV-S035M 超小型工业 CCD 相机,以及无影红外照明系统^[5];② 图像控制器选择 KENENCE 公司性能适中的 CV5501 型,KEYENCE 的图像控制器相较于 OMRON 及 COGNEX 更简单易学、检测速度快且成本低,而此品牌中的 CV5701、CV5501、CV5001 型中的 CV5001 支持的相机有限,难以满足要求,CV-5501 型号控制器可拓展彩色信号输入时进行 Blob 分析,与基于像素的算法相比,大大提高了处理速度;③ 可编程控制器(PLC)选择 KEYENCE 公司的 KV-1000 型^[6]。

1.2 检测流程

食品内包装机视觉缺陷检测装置的工作流程如图 1 所示,设备运行时,CCD 相机对未封闭时的内衬纸缺陷进行扫描,将采集到的图像传入图像传感器,进一步进行图像的分析与测定,与预先设定包装材料的尺寸、颜色、像素等参数进行比较,使被测样品的各类参数介于预设数值的上下限内,保证成品完好,所得图像数据通过 Ethernet 与 PLC 通讯,不符合预设情况的内衬纸由 PLC 进行判别,经 PLC 获得缺陷内衬纸反馈信息后,转换为与原机相同的运行角度数值,同步显示在运行界面,进而依靠触发信号进行移位计算,达到移位步数后输出剔除信号。剔除信号通过数字量输出模式与包装原机控制系统通讯,最终由剔除通道的电磁铁上电后,即可执行剔除动作。

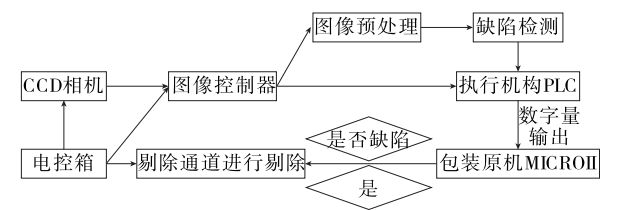


图 1 食品内包装机视觉缺陷检测装置工作流程图
Figure 1 Operation flow of food inner packaging testing device based on machine vision

2 技术实现

2.1 相机及光源的安装位置

以 GDXII 硬盒包装机检测内衬纸为例,进行基于机器视觉的食品内包装缺陷检测装置的设计,设计部位主要为包装机的第 5 个鼓轮及第 3 个鼓轮。在机器视觉系统中,相机的选择及光源的位置直接影响图像采集和后续算法的复杂度,因此选择合适的相机和照明方式有助于提高检测结果的准确性和可靠性^[7]。

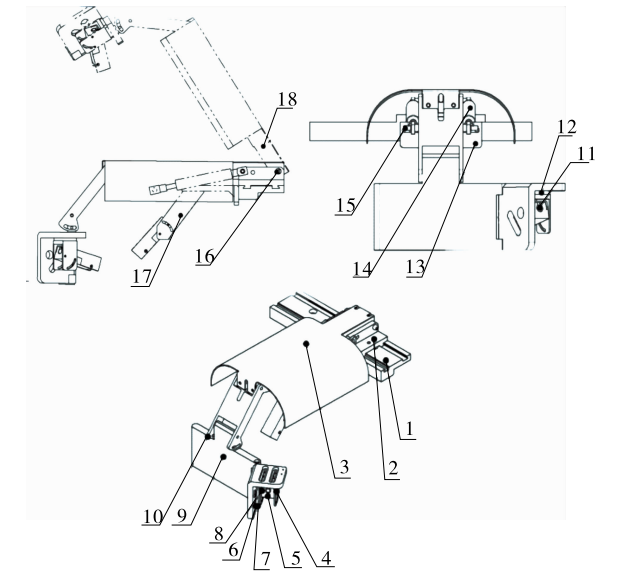
(1) 在实际生产中,第 5 个鼓轮为内框纸包装的最后一个环节,适用于内衬纸正面检测^[8],此部分需经常查看和维护保养,所以均匀设计了 2 个红外光源,相机采用纵向配置

双相机同步拍照,可保证开机无可见光源,不影响操作人员的正常工作。为保证整体结构不影响操作人员的视线,支架采用气弹簧上抬的方式,并且在不影响拍照效果的情况下进行结构设计,见图 2。

(2) 在生产过程中,第 3 个鼓轮为内衬纸包装后的环节,用于检测内衬纸背面缺陷^[9]。光源设计为一个红外光源,因整体安装局限采用单个小相机即可将画面拍全,实现对内衬纸的全面覆盖,所有支架均采用气弹簧上抬方式,机械结构设计见图 3。

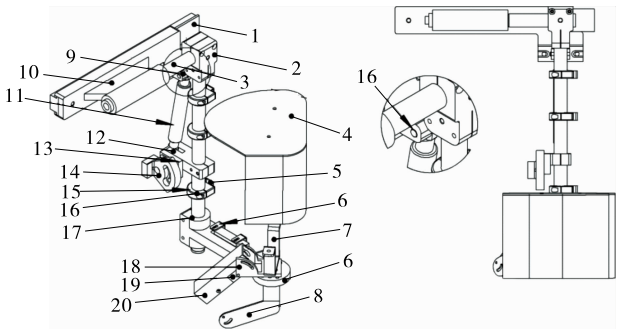
2.2 检测算法

检测算法分为图像处理及缺陷检测两部分。图像处理过程分为两个阶段,第一阶段进行内衬纸图像的预处理,第二阶段为缺陷检测。为突出缺陷特征量,需在缺陷检测前进



1. 固定轨 2. 滑块 3. 挡光板 4、6. 右相机支架 5. 相机架 7. 图样名称 8. 相机罩 9. 挡板 10. 挡板支架 11. 相机 12. 右相机支架垫板 13、17. 左相机支架 14. 气弹簧 15. 气弹簧支架 16. 销轴 18. 悬臂

图 2 第 5 个鼓轮摄像机械结构总图
Figure 2 Mechanical structure design of camera in fifth wheel



1. 导轨 2. 连接头 3. 旋转轴 4. 光源罩 5. 线夹 6. 悬臂 7. 灯罩支架 8. 灯支架 9、12. 气垫簧坐 10. 滑块 11. 气垫簧 13. 固定座滑块 14. 固定座 15. 线夹固定座 16. 销轴 17. 悬臂支座 18、20. 相机座 19. 相机架

图 3 第 3 个鼓轮摄像机械结构总图
Figure 3 Mechanical structure design of camera in third wheel

行图像的预处理,预处理结束后,再分别采用面积检测、模型搜索、多功能搜索、斑点检测等算法进行缺陷判断,首先针对合格包装进行全方位检测参数的调整试验,得到实际参数及控制范围(上限和下限),如检测值超过指定范围,则判断为不合格(NG),否则为合格(OK),并将判断结果输出至 PLC 控制端进行剔除。

2.2.1 图像预处理

(1) 二值化处理:连续采集多幅图像,扫描图像的每个像素值,依据背景颜色和灰度范围进行阈值分割,将目标图像与背景区分开。具体函数为^[10]:

$$g(x,y)=\begin{cases} 0, & 0\leq f(x,y)<T \\ 255, & T\leq f(x,y)\leq 255 \end{cases}, \tag{1}$$

式中:
 T ——阈值,像素。

像素值小于 T 的设为 0(黑色),大于等于 T 的设为 255 (白色)。

(2) 实时浓淡补正:由于二值化处理后的图像容易模糊一些关键信息点,对于一些缺陷类型如斑点的检测并不十分适用。因此实时浓淡补正可通过输入图像对推算的背景图像进行差分处理,消除可变背景中的阴影,仅保留对比度突变的地方^[11]。设 $D(x,y)$ 为连续两帧图像之间的差分图像, $I(t)$ 和 $I(t-1)$ 分别为 t 和 $t-1$ 时刻的图像,则:

$$D(x,y)=\begin{cases} 1, & \text{if } |I(t)-I(t-1)|>T \\ 0, & \text{others} \end{cases}, \tag{2}$$

式中:
 T ——差分图像二值化时选取的阈值,像素。
 $D(x,y)=1$ 表示前景, $D(x,y)=0$ 表示背景。

图 4 为内衬纸实时浓淡补正效果对比图。

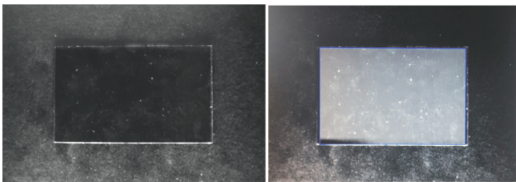


图 4 实时浓淡补正对比图

Figure 4 Comparison chart of real-time shading correction

2.2.2 缺陷检测

(1) 面积检测:采集到二值目标图像后,检测白色或黑色的面积,计算方法:被测图像面积=单个像素点对应目标图像面积×目标图像所包含像素总数,输出结果为像素值。该方法对内衬纸破损等面积缺陷具有良好的检测效果^[12],图 5 为破损内衬纸面积检测效果对比图。

(2) 模型搜索:通过预先注册图像模型从当前图像中检测与注册模型最相似的部分,检测模型的位置、倾斜角度以及匹配度。对于检测内包装褶皱,采用模型的相似度进行判断,检测之前由于相机采用黑白相机,只需对包装纸图像进行实时浓淡补正,输出结果以 0~99.999 数值显示,见图 6,检测结果相似度为 98.859%。

(3) 多功能搜索:与模型搜索类似,都是通过检测当前图像与预先注册模型的位置、倾斜角度、相似度等进行判断,

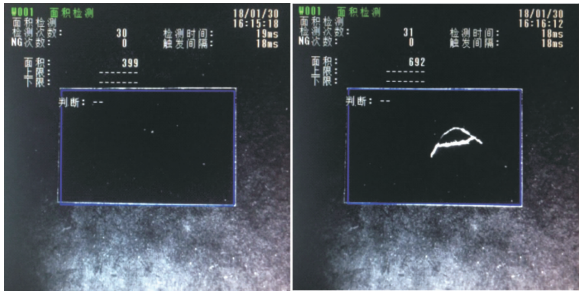


图 5 面积检测效果对比图

Figure 5 Comparison chart of area detections

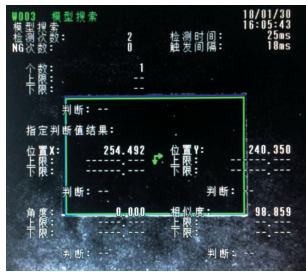


图 6 模型搜索检测结果示意图

Figure 6 Results of model search test

不同的是多功能搜索能同时检测出 1 个窗口内多个类型的注册模型。在预处理为二值化时,此方法检测内衬纸缺失效果较好。

(4) 斑点检测:斑点是指二值化图像内具有相同浓淡度(255 或 0)的像素集合,通过检测每个像素的浓度(明暗)数据,斑点检测通常采用 Surf 算法中的 DoH 检测^[13],利用图像点二阶微分 Hessian 矩阵: $H[(x,y),\sigma] = \begin{bmatrix} Lxx((x,y),\sigma) & Lxy((x,y),\sigma) \\ Lxy((x,y),\sigma) & Lyy((x,y),\sigma) \end{bmatrix}$, 以及它的行列式值 $DoH; det = \sigma^4 \{ Lxx[(x,y),\sigma]Lyy[(x,y),\sigma] - Lxy^2[(x,y),\sigma] \}$ 。矩阵中的每个值表示图像在对应位置尺度为 σ 时的二阶偏导数,即图像在 (x,y) 处的偏导数与尺度为 σ 高斯核函数卷积计算,如图 7 所示,斑点面积为 195 像素,位置以重心 $XY(349.303,198.908)$ 坐标显示。

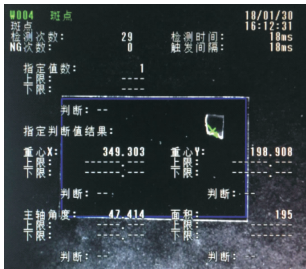


图 7 斑点检测示意图

Figure 7 Results of spot detection

3 应用验证

3.1 参数测试

为验证机器视觉技术在食品内包装缺陷检测装置上的应用效果,对南阳卷烟厂随机抽取一台生产“黄金叶(帝豪)”牌号的 GDXII 机组作为试验设备。YB45 型包装机运行速

度为 400 包/min,分别定制有不同程度缺陷内衬纸的烟包各 20 包用于生产测试,检测机器视觉系统的实际效果,数据记录见表 1。由表 1 可知,不同缺陷类型内衬纸剔除率均达到 95%以上,其中对内衬纸正面破损、印刷不好、背面褶皱检出率高达 100%,符合卷烟包装标准。

为保证机器视觉系统的使用效果,根据质量标准要求对

该装置研发前后进行动态试验,分别对三班(白班、前夜班、后夜班)缺陷烟包情况进行统计,统计周期均为 3 个月,结果见表 2。可见,研发后白班缺陷烟包由 14.0 包/月降低到 0.7 包/月,前夜班缺陷烟包由 8.7 包/月降低到 0.3 包/月,后夜班缺陷烟包由 8.7 包/月降低到 0.7 包/月,极大地减少了缺陷烟包量,提高了设备运行的稳定性。

表 1 “黄金叶(帝豪)”牌号内衬纸缺陷检测结果
Table 1 Defect test results of “Golden Leaf (Dihao)” brand inner liner

检测部位	检测项目	检测方法	检测精度/mm ²	缺陷数量/包	检出次数/次	剔除率/%
第 5 个鼓轮	内衬纸正面破损	面积检测	≥0.5	20	20	100.0
第 5 个鼓轮	内衬纸正面印刷不好	斑点检测	≥1.0	20	20	100.0
第 3 个鼓轮	内衬纸背面破损	面积检测	≥0.5	20	19	95.0
第 3 个鼓轮	内衬纸背面褶皱	模型搜索	≥1.0	20	20	100.0
第 3 个鼓轮	内衬纸背面缺失	多功能搜索	≥0.5	20	19	95.0

表 2 食品内包装缺陷检测装置研发前后缺陷烟包量统计
Table 2 Statistics of cigarette packaging defects before and after food inner packaging detection device developed

月份	研发前			研发后		
	白班缺陷烟包总量/包	前夜班缺陷烟包总量/包	后夜班缺陷烟包总量/包	白班缺陷烟包总量/包	前夜班缺陷烟包总量/包	后夜班缺陷烟包总量/包
4 月	5	7	4	2	1	2
5 月	13	10	5	0	0	0
6 月	24	9	17	0	0	0
平均值	14.0	8.7	8.7	0.7	0.3	0.7

3.2 机械部件测试

根据监控系统对相机、光源及其防护罩的监控结果,以及设备的实际测量表明,第 5 个鼓轮和第 3 个鼓轮的镜头等安装部件不影响设备运转,且拍照稳定、图像清晰,辅助光源同步触发无相互干扰。连续运行 1 周后,用 FLUKE 热成像仪对各机械部件运行温度进行测试。结果表明:第 5 个鼓轮 1#相机温度为 32.4℃,2#相机温度为 36.8℃;第 3 个鼓轮光源温度为 31.1℃,相机温度为 32.4℃;电控柜内最高温度为 54.8℃,电控箱内最高温度为 57.6℃,所有仪器的温度均在控制范围内,满足仪器长期稳定运行要求。

4 结论

基于机器视觉的食品内包装缺陷检测装置,以光学相机为检测元件、PLC 为控制系统、以人机交互为一体化系统、集多种检测算法,实现了对包装材料的全方位质量检测,较好地解决了包装材料正面及背面破损、褶皱、缺失等问题。测试结果表明,在设备全速(400 包/min)运行时,各类型缺陷内衬纸的检测准确率均高达 95%以上,研发后的缺陷烟包白班减少了 13.3 包/月,前夜班减少了 8.4 包/月,后夜班减少了 8.0 包/月,降低了工人的劳动强度及原材料消耗,提高了设备检出精度。通过对机械部件的运行测试,所有仪器连续运行 1 周后的温度均在控制范围内,满足长期稳定运行的要求。该装置突破食品包装多样化的限制,采用多角度、多点位、宽谱带检测,相对精度高;有效提高了食品包装质量控制能力和系统生产的稳定性,实现了食品内包装质量的闭环式自动检测技术。

参考文献

[1] DUNCAN T V. Applications of nanotechnology in food

packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors[J]. J Colloid Interface Sci, 2011, 363(1): 1-24.
[2] 杨慧斌, 闫娟. 基于 LabVIEW 的食品包装喷码视觉检测方法[J]. 食品与机械, 2016, 32(4): 123-126.
[3] 李萌, 孙铁波. 基于机器视觉的食品包装缺陷检测研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(24): 125-127.
[4] 薛延学, 张二虎, 吴学毅. 基于计算机视觉的印刷包装品缺陷检测系统[J]. 包装工程, 2004, 25(5): 185-187.
[5] 侯远韶. 机器视觉系统中光源的选择[J]. 洛阳师范学院学报, 2014(8): 45-49.
[6] BAYINDIR R, CETINCEVIZ Y. A water pumping control system with a programmable logic controller (PLC) and industrial wireless modules for industrial plants: An experimental setup[J]. Isa Transactions, 2011, 50(2): 321.
[7] 尚会超, 杨锐, 段梦珍, 等. 机器视觉照明系统的关键技术分析[J]. 中原工学院学报, 2016, 27(3): 16-21.
[8] 潘安岳. GDX2 卷烟包装机五轮铝箔纸检测装置的设计应用[J]. 科技风, 2013(23): 72.
[9] GAN Y Y. The design and application of packaging wheel tracking sampling system in GDX2 hard packet packer[J]. Construction & Design for Engineering, 2017(8): 21-23.
[10] 杨洋, 项辉宇, 冷崇杰, 等. 基于 OpenCV 的食品包装缺陷分割方法[J]. 食品与机械, 2017, 33(7): 104-106.
[11] 高慧, 曾庆尚, 韩明峰. 基于梯度直方图与密度度量模型的图像伪造检测算法[J]. 包装工程, 2017(23): 205-210.
[12] 郝琳. CCD 传感器在烟叶面积检测中应用[J]. 工程技术: 引文版, 2016(5): 39.
[13] 史媛芳, 江治国. 几种斑点检测算法及其性能比较[J]. 科技信息, 2012(35): 91-92.