

工艺与装备

基于机器视觉的包装品质检测系统设计

马志刚, 赵志强

(深圳职业技术学院, 广东 深圳 518055)

摘要: **目的** 为提高包装缺陷检测精度, 基于机器视觉设计一种包装品质检测系统。**方法** 介绍机器视觉系统硬件结构, 包括载物平台、工业相机、光室、计算机等。在此基础上, 以条烟外包装检测为主要研究对象, 详细阐述图像处理算法。首先利用中值滤波消除原始图像噪声; 然后基于 Canny 算子实现图像边缘锐化; 最终通过图像配准判断条烟外包装是否存在缺陷。**结果** 通过实验验证, 结果表明该系统对合格样本的识别率可以达到 100%; 不合格样本的识别率也可以达到 98.67%; 整体识别率可以达到 99.33%。**结论** 机器视觉系统具有识别精度高、性能稳定等特点; 图像处理算法可准确区分条烟是否存在缺陷, 具有实际应用价值。

关键词: 机器视觉; 包装; 缺陷检测; 图像处理; 条烟

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)21-0193-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.21.025

Design of Packaging Quality Inspection System Based on Machine Vision

MA Zhi-gang, ZHAO Zhi-qiang

(Shenzhen Polytechnic, Guangdong Shenzhen 518055, China)

ABSTRACT: The work aims to design a packaging quality detection system based on machine vision to improve the accuracy of packaging defect detection. The hardware structure of machine vision system was introduced, including carrier platform, industrial camera, light room, computer, etc. On this basis, the image processing algorithm was described in detail with the detection of cigarette packaging as the main research object. First, the median filter was used to eliminate the original image noise. Then, the image edge was sharpened based on Canny operator. Finally, image registration was used to judge whether there were defects in cigarette packaging. The validity of the system was verified by experiments, and the results showed that the recognition rate of the system to qualified samples could reach 100%. The recognition rate of unqualified samples could also reach 98.67%. The overall recognition rate was 99.33%. The machine vision system has the characteristics of high identification accuracy and stable performance. The image processing algorithm can accurately distinguish whether a cigarette has defects and has practical application value.

KEY WORDS: machine vision; packaging; defect detection; image processing; smoke

产品包装具有承载商品信息、彰显企业形象和文化等功能, 随着人们消费需求不断提高, 产品包装就显得越来越重要^[1-2]。随着经济快速发展, 各品牌之间的竞争愈发激烈, 如何让自家产品在众多竞争对手

中脱颖而出, 已成为每个厂家无法回避的问题。许多企业和科研人员在确保产品质量的前提下, 将包装品质看作提升产品品质的关键因素, 因此一些智能化包装技术成为企业首选。受各种因素影响, 产品包装过

收稿日期: 2022-07-18

基金项目: 国家自然科学基金 (61671309)

作者简介: 马志刚 (1979—), 男, 硕士, 讲师, 主要研究方向为嵌入式系统软/硬件、计算机控制、人工智能。

程难免出现缺陷^[3-5], 目前, 许多企业还是以人工检测为主, 不仅速度慢、效率低, 而且容易出现漏检、误检等问题, 很难满足工业自动化的要求。为解决此问题, 可考虑将机器视觉引入到包装检测中。机器视觉是一项综合技术, 包括图像处理、机械工程技术、控制、电光源照明、光学成像、传感器、模拟与数字视频技术、计算机软硬件技术(图像增强和分析算法、图像卡、I/O 卡等)。一个典型的机器视觉应用系统包括图像捕捉、光源系统、图像数字化模块、数字图像处理模块、智能判断决策模块和机械控制执行模块^[6-7]。杨祖彬等^[8]针对传统检测方法检测时间长、分拣效率低、漏检率高和对人视觉要求高等缺点, 在图像增强处理的基础上, 提出了一种适用于食品包装印刷缺陷检测的图像配准算法; 刘学福等^[9]针对工业炸药生产过程中药卷表面裂痕等包装缺陷问题, 运用机器视觉技术, 提出了一种基于显著性模型和局部方差区域生长法的药卷缺陷检测方法。方文星等^[10]采用快速鲁棒特征 SURF 提取算法、BOW 算法和单分类支持向量机组成的缺陷检测算法框架, 完成了铝塑泡罩药品包装缺陷检测系统的开发。

文中在现有研究的基础上, 以条烟包装外观缺陷检测为研究对象, 提出一种结合中值滤波、边缘检测和模板匹配的图像处理办法, 并将其应用于条烟包装检测, 通过实验验证所述方法的有效性。

1 机器视觉系统

一般情况下, 机器视觉系统包括硬件和软件两部分, 其中图像获取、处理和分析是机器视觉的核心与关键。机器视觉系统的硬件部分主要包括载物平台、工业相机或扫描仪、光室、计算机等几个主要构件, 其结构见图 1。

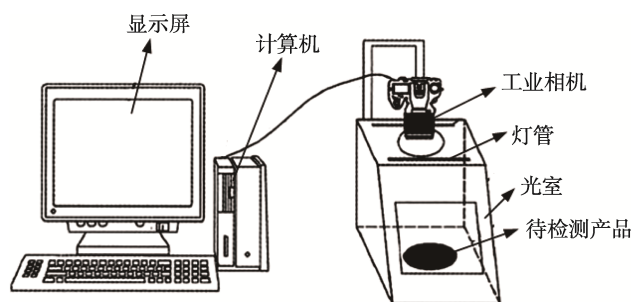


图 1 机器视觉系统结构
Fig.1 Structure of machine vision system

如图 1 所示, 载物平台可以放置待检测产品, 某些场合可以加装翻转装置, 以便比较全面地获取待检测产品原始图像。光室是一个密闭空间, 可以避免外界光线的干扰, 以确保图像采集过程的稳定性; 光室内灯管多为 LED 灯或者日光灯, 固定在光室顶部, 光室内光照强度可以按需调节。计算机则需要满足整

个系统对运算速度的要求, 特别是图像处理算法; 另外, 计算机接口要丰富, 便于连接不同设备或扩展。工业相机直接决定待检测产品的原始图像质量, 对后期图像处理流程的影响比较大, 因此工业相机是整个硬件系统的核心部件; 可根据实际需求选择稍高配置的工业相机; 工业相机参数需要根据实际工况反复调整, 以确保所获图像的准确性和真实性。

根据实际工艺需求, 系统配有 3 个工业相机, 其中工业相机 1 位于顶端, 用于获取条烟 4 个长条面图像; 工业相机 2 和 3 分置光室左右两端, 用于获取条烟两端图像。翻转装置可使条烟依次翻转, 得到所有长条面图像。条烟包装缺陷检测流程为: 图像采集卡会将采集到的所有图像传送至计算机; 计算机通过图像处理得到相应结果并传送至工控机; 工控机根据控制指令操纵执行机构, 将存在缺陷的产品剔除; 传送装置依次将条烟送入光室。

2 图像处理算法

2.1 图像预处理

在条烟包装过程中存在多种噪声源, 如机械振动、灰尘、疵点等, 所以条烟原始图像肯定包含一定量的噪声。噪声强度达到某个值后就会影响后面图像处理工序, 因此需要对条烟原始图像进行预处理, 即去除图像噪声, 以改善图像质量^[11]。综合考虑, 基于中值滤波设计了一种图像预处理方法, 具体过程如下。

定义一个一维序列 $f_1, f_2, \dots, f_n$, 其中中值滤波对应窗口的长度为奇数 m 。从一维序列中挑选 m 个数 $f_{i-m+1/2}, \dots, f_{i-1}, f_i, f_{i+m+1/2}, f_i$ 代表窗口中心值。将这 m 个数值按照大小进行排序并取中间位置的数值作为滤波器输出, 则有:

$$Y_i = \text{med}\{f_{i-m+1/2}, \dots, f_i, \dots, f_{i+m+1/2}\} \quad (1)$$

为获得更好的图像处理效果, 可使用二维中值滤波实现条烟图像处理, 即:

$$g(x, y) = \text{med}\{f(x-k, y-l), (k, l) \in W\} \quad (2)$$

式中: $f(x, y)$ 为原始图像; $g(x, y)$ 为中值处理图像; W 为一个二维模板, 一般取 3×3 或 5×5 的二维区域。经实际处理发现, 条烟图像噪声多表现为椒盐噪声, 为兼顾图像处理的实时性, 文中选择 3×3 二维区域, 这样既可以滤除噪声又可以不降低算法处理速度。

2.2 图像锐化

条烟图像经中值滤波处理后, 其轮廓很有可能会变得模糊。为降低边缘模糊化的影响, 采用锐化处理技术, 提高图像边缘、内部轮廓等细节的清晰度。参考相关算法, 考虑基于 Canny 算子实现图像边缘锐

化, 具体过程可描述如下。

为进一步滤除图像噪声, 使图像特征更加明显, 可采用一种高斯滤波器 $H(x, y)$, 其表达式为:

$$H(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right) \quad (3)$$

式中: σ 为高斯滤波器的标准差。利用式 (3) 的一阶微分去求解条烟图像的梯度, 包括幅值、方向。高斯滤波器的一阶微分算子可表示为:

$$\frac{\partial H}{\partial x} = kx \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right) = h_1(x)h_2(y) \quad (4)$$

$$\frac{\partial H}{\partial y} = ky \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) = h_1(y)h_2(x) \quad (5)$$

式中: $h_1(x) = \sqrt{k}x \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$, $h_2(x) = \sqrt{k} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right)$, $h_1(y) = \sqrt{k}y \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right)$, $h_2(y) = \sqrt{k} \cdot \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma^2}\right)$, k 为常数。利用上述两式对预处理后的图像进行卷积处理, 则存在:

$$\begin{cases} E_x = \frac{\partial H}{\partial x} * g(x, y) \\ E_y = \frac{\partial H}{\partial y} * g(x, y) \end{cases} \quad (6)$$

综上所述, 条烟图像的梯度幅值可描述为:

$$A(x, y) = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \quad (7)$$

条烟图像的梯度方向可描述为:

$$\theta(x, y) = \arctan\left(\frac{E_x}{E_y}\right) \quad (8)$$

为确保边缘定位精度, 可选用非极大值抑制实现梯度幅值图像的进一步处理。所属 Canny 算子会从上下左右 4 个方向对梯度幅值图像进行非极大抑制。如果某像素点的幅值大于梯度方向上相邻两个像素点的幅值, 则可将该点看作边缘点; 否则, 该点就是非边缘点^[12-15]。

2.3 图像匹配

通常情况下, 外包装合格的条烟表面光滑无褶皱、紧凑整体度非常好; 一旦出现缺陷, 如破损、褶皱、折角不标准, 通过图像对比是比较容易发现的, 文中采用图像匹配算法来判断当前包装是否存在缺陷, 即利用实时图像与标准图像进行对比、匹配。

定义经锐化处理后的图像为 $I(x, y)$, 而模板图像则可以定义为 $T(x, y)$, 对比锐化图像和模板图像并计算二者之间的相似度。假设 2 幅图像相同位置点为 (i, j) , 那么在该点处 2 幅图像的相似度可表示为:

$$D(i, j) = \frac{\sum_x \sum_y T(x, y)I(x-i, y-j)}{\sqrt{\sum_x \sum_y T^2(x-i, y-j)}} \quad (9)$$

对于整幅图像可使用相关系数来表示其相似度, 相关系数可定义为:

$$R(I, T) = \frac{\sum_x \sum_y [T(x, y) - u_T][I(x, y) - u_I]}{\sqrt{\sum_x \sum_y [T(x, y) - u_T]^2 \sum_x \sum_y [I(x, y) - u_I]^2}} \quad (10)$$

式中: u_I 为锐化图像均值; u_T 为模板图像均值。理论上, 该方法能准确地描述 2 幅图的相似程度, 如果引入快速傅里叶变换就可以大大提高图像匹配效率^[16-17]。条烟图像处理结果见图 2。从图 2 可以看出, 如果条烟包装不存在缺陷, 所述图像处理算法定位准确; 另外, 通过匹配结果可以判断条烟包装是否存在缺陷。

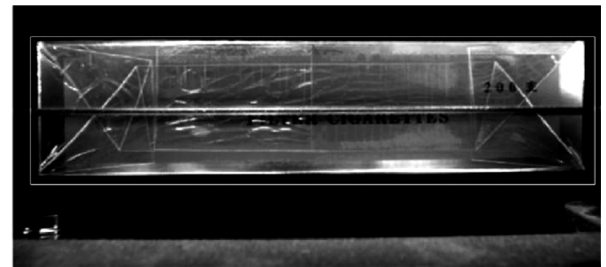


图 2 条烟图像处理结果
Fig.2 Processing results of smoke image

3 实验研究

为验证所述包装品质检测系统的有效性, 文中进行了相关实验研究。以某烟厂实际生产线为平台, 搭建上述机器视觉系统, 见图 3。



图 3 包装品质检测实验平台
Fig.3 Testing platform for packaging quality

一般情况下, 条烟缺陷可分为包装纸破损、反包、透明纸破损、褶皱、缺失等。测试过程中, 每组测试检测条烟总数为 1 000, 其中含 100 个不合格产品, 不合格产品囊括各种类型缺陷, 条烟实际图像大小为 640×480 像素。设备运行稳定后, 将待检测产品随机放入烟草生产线, 实验结果见表 1。

从实验结果可以看出,所述系统的漏检率仅为 0.6%,误检率仅为 0.8%,整体识别率可以达到 98.6%。实验结果表明:所述机器视觉系统具有识别精度高、性能稳定等特点;所述图像处理算法可准确区分条烟是否存在缺陷,具有实际应用价值。

进一步地,每个厂家生产的条烟包装外观不尽相同,所以包装检测系统的检测对象也就不同。为验证算法有效性,文中针对不同品牌、不同包装外观的条烟进行检测并统计单位耗时。不同条烟缺陷检测结果见表 2。

表 1 实验结果
Tab.1 Experimental results

序号	正确识别数	漏检数	误检数	识别率/%
1	100	0	0	100
2	98	1	1	98
3	98	1	1	98
4	99	0	1	99
5	98	1	1	98
6	99	1	0	99
7	100	0	0	100
8	98	0	2	98
9	99	1	0	99
10	97	1	2	97

表 2 不同条烟缺陷检测结果
Tab.2 Detection results of different smoke defects

品牌	样本总数	缺陷样本数	正确识别数	识别率/%	实际检测耗时/s	标准检测耗时/s
1	1 000	100	99	99	0.532	≤1
2	1 000	100	98	98	0.617	≤1
3	1 000	100	1 000	100	0.550	≤1
4	1 000	100	99	99	0.479	≤1
5	1 000	100	99	99	0.581	≤1

由表 2 可知,对不同品牌条烟的识别率均在 98% 以上,单个条烟检测耗时都没有超过 1 s,符合生产厂家要求。即使条烟包装不同,所述系统的识别率也比较高而且检测速度比较快,即图像处理算法具有精度高、响应快等特点。

4 结语

以包装缺陷检测为研究对象,针对条烟外包装品质问题,基于机器视觉设计了一种缺陷检测方法和系统。重点论述了机器视觉系统以及图像处理算法,通过实验验证了所述方法的可行性和有效性。实验结果表明,所述检测系统可区分条烟外包装是否存在缺陷,具有精度高、响应快等特点。

参考文献:

- [1] 李国进,董第永,陈双. 基于计算机视觉的芒果检测与分级研究[J]. 农机化研究, 2015, 37(10): 13-18.
LI Guo-jin, DONG Di-yong, CHENG Shuang. Research on Mango Detection and Classification by Computer Vision[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(10): 13-18.
- [2] 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.
LI Meng, SUI Tie-bo. Research of Food Packaging Defects Detection Based on Machine Vision[J]. Food Research and Development, 2016, 37(24): 125-127.

- [3] 毕玉, 杨智勇. 基于 DSP 和 ARM 的苹果分类机器人智能控制系统[J]. 农机化研究, 2020, 42(3): 203-207.
BI Yu, YANG Zhi-yong. Intelligent Control System of Apple Classification Robot Based on DSP and ARM[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2020, 42(3): 203-207.
- [4] 廖恩红, 李会芳, 王华, 等. 基于卷积神经网络的食品图像识别[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2019, 51(4): 113-119.
LIAO En-hong, LI Hui-fang, WANG Hua, et al. Food Image Recognition Based on Convolutional Neural Network[J]. Journal of South China Normal University(Natural Science Edition), 2019, 51(4): 113-119.
- [5] 沈红雷. 基于机器视觉技术的塑料制品缺陷检测研究[J]. 塑料科技, 2016, 44(8): 89-92.
SHEN Hong-lei. Plastic Products Defect Detection Based on Machine Vision[J]. Plastics Science and Technology, 2016, 44(8): 89-92.
- [6] 李世裴, 李春琳, 韩家哺, 等. 面向机器人抓取的双目视觉单步多目标检测方法应用研究[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2021, 38(5): 68-74.
LI Shi-pei, LI Chun-lin, HAN Jia-bu, et al. Application of Binocular Vision Single Step Multi-target Detection Method for Robot Grasping[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2021, 38(5): 68-74.
- [7] 张就, 夏营威, 王澎, 等. 基于计算机视觉的卷烟包装方正度测量方法[J]. 烟草科技, 2017(11): 92-97.
ZHANG Jiu, XIA Ying-wei, WANG Peng, et al. A Method for Measuring Degree of Square of Cigarette Packet Based on Computer Vision[J]. Tobacco Science & Technology, 2017(11): 92-97.
- [8] 杨祖彬, 代小红. 基于图像配准的食品包装印刷缺陷检测与实现[J]. 计算机科学, 2015, 42(8): 319-322.
YANG Zu-bin, DAI Xiao-hong. Printing Defects Detection and Realization in Food Packaging Based on Image Registration[J]. Computer Science, 2015, 42(8): 319-322.
- [9] 刘学福, 何小敏, 许亮, 等. 基于显著性模型和区域生长法的药卷缺陷检测[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(4): 125-129.
LIU Xue-fu, HE Xiao-min, XU Liang, et al. A Defect Detection of Cartridged Explosive Based on Saliency Model and Region Growing Method[J]. Science Technology and Engineering, 2015, 15(4): 125-129.
- [10] 方文星, 王野. 一种铝塑泡罩药品包装缺陷检测方法[J]. 包装工程, 2019, 40(1): 133-139.
FANG Wen-xing, WANG Ye. Defect Detection Method for Drug Packaging with Aluminum Plastic Bubble Cap[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(1): 133-139.
- [11] 蔡培良, 何邦贵, 华卫, 等. BV 包装机条烟外观质量检测装置的设计[J]. 包装工程, 2018, 39(23): 143-150.
CAI Pei-liang, HE Bang-gui, HUA Wei, et al. Design of Inspection Device for the Appearance Quality of Cigarette in BV Packaging Machine[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(23): 143-150.
- [12] 颜西斌. 基于视觉感知特征的条烟异常检测算法[J]. 烟草科技, 2016, 49(1): 78-83.
YAN Xi-bin. An Algorithm for Detection of Abnormal Cigarette Cartons Based on Visual Perception Features[J]. Tobacco Science & Technology, 2016, 49(1): 78-83.
- [13] 朱标. 基于优化 ORB 算法的图像角点特征匹配方法[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2021, 38(4): 42-51.
ZHU Biao. An Image Corner Features Matching Method Based on Optimized ORB Algorithm[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2021, 38(4): 42-51.
- [14] 汤子夜, 朱林, 丁宇韬, 等. 图像边缘检测的优化算法研究[J]. 科技创新与生产力, 2019(2): 71-74.
TANG Zi-ye, ZHU Lin, DING Yu-tao, et al. Optimization Algorithm of Image Edge Detection[J]. Technology Innovation and Productivity, 2019(2): 71-74.
- [15] 谢道平. 基于小波变换多尺度的图像边缘检测方法研究[J]. 大众科技, 2017, 19(11): 3-5.
XIE Dao-ping. A Study of Image Edge Detection Based on Multi-scale Wavelet[J]. Popular Science & Technology, 2017, 19(11): 3-5.
- [16] 汤超, 周孟然. 基于学习向量量化在蜂蜜 LIF 光谱图像识别的应用[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2021, 38(3): 19-25.
TANG Chao, ZHOU Meng-ran. Application of Learning Vector Quantization to Honey LIF Spectral Image Recognition[J]. Journal of Chongqing Technology and Business University (Natural Science Edition), 2021, 38(3): 19-25.
- [17] 史丽燕. 基于机器视觉和图像处理的包装印刷缺陷检测方法[J]. 科技通报, 2018, 34(10): 105-108.
SHI Li-yan. Method of Packaging Printing Defects Detection Based on Machine Vision and Image Processing[J]. Bulletin of Science and Technology, 2018, 34(10): 105-108.