

# 基于机器视觉的食品包装检测系统设计

李莹, 栾秋平

(山东电子职业技术学院, 济南 250200)

**摘要:** **目的** 为提高食品外包装美观性, 确保食品包装质量, 基于机器视觉设计一种食品包装检测系统。**方法** 食品包装检测系统主要包括图像获取模块、图像处理和分析模块、输出执行模块等部分。讨论图像处理的关键技术, 在传统小波变换的基础上, 提出一种改进算法以增强图像特征信息, 提高识别率, 实现食品包装边缘检测。以污染、飞墨等典型缺陷为例, 论述其特征提取方法, 包括圆形度、长宽比、灰度标准差等。最后进行实验研究。**结果** 实验结果表明, 所述食品包装检测系统的检测精度在 99% 以上, 具有较高的检测准确性。**结论** 基于机器视觉的食品包装检测系统能够满足食品包装需求。

**关键词:** 机器视觉; 食品包装; 小波变换; 特征提取

中图分类号: TB487; TP391 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)09-0210-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.09.032

## Design of Food Packaging Detection System Based on Machine Vision

LI Ying, LUAN Qiu-ping

(Shandong College of Electronic Technology, Jinan 250200, China)

**ABSTRACT:** The work aims to design a food packaging detection system based on machine vision, in order to improve the appearance and ensure the quality of food packaging. Food packaging detection system mainly included image acquisition module, image processing and analysis module, output execution module and other parts. The key techniques of image processing were discussed. Based on the traditional wavelet transform, an improved algorithm was proposed to enhance the image feature information, improve the recognition rate and realize the edge detection of food packaging. Taking pollution, flying ink and other typical defects as examples, the methods of feature extraction were discussed, including roundness, aspect ratio, gray standard difference and so on. Finally, an experimental study was carried out. The experimental results showed that, with detection accuracy of more than 99%, the proposed food packaging detection system had relatively high detection accuracy. The food packaging detection system based on the machine vision can meet the requirements of food packaging.

**KEY WORDS:** machine vision; food packaging; wavelet transform; feature extraction

食品包装是保证食品质量的重要手段, 可以确保食品在流通过程中不受污染, 提高食品品质, 避免食品安全事故发生<sup>[1-3]</sup>。另外, 食品包装的观赏性会给消费者带来良好的购物体验, 进而刺激消费, 提高企业市场竞争力。如果在生产阶段, 食品包装就出现各种问题, 例如包装污染、褶皱、破损等, 不仅会降低

食品档次, 而且容易引发食品质量问题, 给企业造成不必要的损失<sup>[4-5]</sup>, 因此, 食品包装检测是控制不合格食品流入市场的关键环节。目前, 绝大多数中小型企业依旧依靠人工实现食品包装检测, 这种方法存在诸多问题, 例如: 管理不规范、标准不明确、检测精度低、工作强度大等。随着自动化水平的不断提高,

收稿日期: 2019-05-14

作者简介: 李莹 (1983—), 女, 硕士, 山东电子职业技术学院讲师, 主要研究方向为电子控制与通信技术。

部分企业开始引进自动检测设备,通过机器视觉代替人眼完成检测,大大提高了检测速度和精度<sup>[6-9]</sup>。

机器视觉,通过相机获取待检测物图像,利用图像处理技术进行处理、分析得到控制参数,进而实现生产过程控制的一种人工智能技术。在整个检测过程中,检测设备不会直接接触食品,可以避免二次损失或污染。依靠红外线、微波等扫描技术,可以最大程度地扩展检测范围。机器检测的稳定性比较好,能够长时间工作且不受环境因素影响。当前的食品包装检测系统仍然存在漏检、误检等情况,检测精度有待进一步提高<sup>[10-12]</sup>。

为解决此问题,文中以方便面、面包类块状食品包装污染、划伤类缺陷为研究对象,设计一种食品包装检测系统。重点讨论图像处理算法和检测系统结构并通过实验验证其有效性。

## 1 食品包装检测系统

对于方便面、面包类块状食品包装检测,其检测系统主要包括图像获取模块、图像处理和分析模块、输出执行模块等部分<sup>[13]</sup>,其基本结构见图 1。

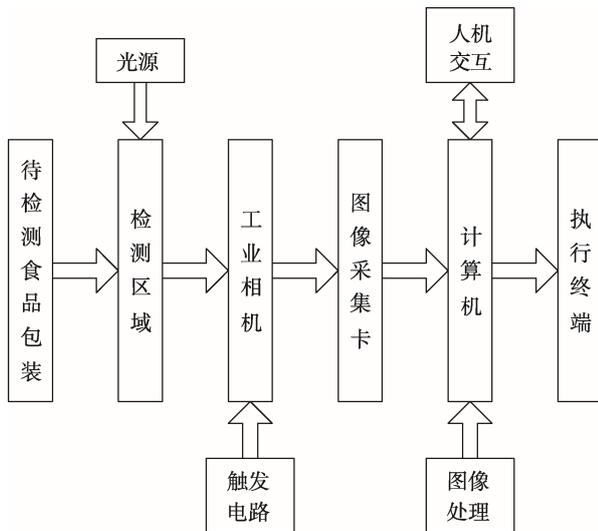


图 1 食品包装检测系统结构  
Fig.1 Food packaging detection system structure

1) 图像获取模块。获取原始图像并将其转换为计算机可识别的数据流,主要包括 CCD 工业相机、拍照光源、拍照触发器、图像采集卡等。

2) 图像处理、分析模块。主要包括图像处理装置和 PC 机 2 种类型,其中图像处理装置可选用智能相机,集成图像预处理、通信等功能;集成化程度高,使用和开发均比较简单;内部视觉处理算法比较简单,不利于推广;可根据需求进行针对性选择。相对而言,PC 机开发就比较灵活,而且扩展性非常好,可根据需求自行设计图像处理模块,而且便于复杂算法的设计和运行。经综合考虑,文中选用 PC 机作为

图像处理、分析模块。另外,PC 机还可外接人机交互设备。

3) 输出执行模块,即执行终端。根据实际分析结果剔除不合格产品,文中选用 PLC 作为执行终端控制器,操控机械手完成相关操作。

总体来说,视觉检测分为 2 个部分,即包装前袋材检测和包装后产品检测。其中包装前袋材检测可以有效解决遮挡等问题,另外对于存在缺陷的某部分袋材可以不进行包装,进而避免资源浪费;对于包装后产品检测可以判断包装过程中是否造成新缺陷。

## 2 图像处理关键技术

### 2.1 小波变换

如果函数  $\psi(t)$  满足  $\psi(t) \in L^2(R)$ ,且  $\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t)dt = 0$  这一条件,那么可称  $\psi(t)$  为基本小波或母小波<sup>[14-15]</sup>。对基本小波进行伸缩、平移变换,可定义伸缩因子为  $a$ 、平移因子为  $b$ ,二者满足  $a, b \in R, a \neq 0$ 。如此可得小波序列:

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (1)$$

式(1)就是分析小波。

定义任意信号  $f(t) \in L^2(R)$ ,其连续小波变换可表示为:

$$WT_f(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi^*\left(\frac{t-b}{a}\right) dt = \langle f, \psi_{a,b} \rangle \quad (2)$$

式(2)中  $\psi^*(t)$  为  $\psi(t)$  的共轭。对于信号的高频部分,小波变换能够获取非常好的时间分辨率;对于信号的低频部分,小波变换能够获得非常好的频率分辨率。在食品包装图像处理过程中,通常需要对小波变换进行离散化处理。

### 2.2 基于小波变换的图像边缘检测

小波变换特别适用于图像边缘提取,它可将图像信号分解为多个不同分量,各分量系数可称为小波系数。图像边缘提取就是计算小波系数模最大值,该值对应图像灰度的突变点,进而实现边缘点提取。

假设某二维图像的信号函数为  $f(x,y)$ ,小波变换表达式为:

$$WT_s f(x,y) = f * \psi_s(x,y) = \frac{1}{s^2} \iint f(u_1, u_2) \psi\left(\frac{x-u_1}{s}, \frac{y-u_2}{s}\right) du_1 du_2 \quad (3)$$

定义二维平滑函数  $\theta(x,y)$  满足:

$$\begin{cases} \iint_{R^2} \theta(x,y) dx dy = 1 \\ \lim_{x,y \rightarrow \infty} \theta(x,y) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

对平滑函数求解一阶偏导，可得 2 个小波基函数，求解过程为：

$$\begin{cases} \psi^1(x,y) = \frac{\partial \theta(x,y)}{\partial x} \\ \psi^2(x,y) = \frac{\partial \theta(x,y)}{\partial y} \end{cases} \quad (5)$$

根据式 (5)，设定尺度  $s$ ，那么图像在  $x$  和  $y$  这 2 个方向上的小波变换可描述为：

$$\begin{cases} WT^1 f(x,y) = s \frac{\partial}{\partial x} (f(x,y) * \theta_s(x,y)) \\ WT^2 f(x,y) = s \frac{\partial}{\partial y} (f(x,y) * \theta_s(x,y)) \end{cases} \quad (6)$$

如果用  $2^j$  表示尺度  $s$ ，那么式 (6) 的向量形式为：

$$\begin{bmatrix} WT^1 f(x,y) \\ WT^2 f(x,y) \end{bmatrix} = 2^j \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} (f(x,y) * \theta_{2^j}(x,y)) \\ \frac{\partial}{\partial y} (f(x,y) * \theta_{2^j}(x,y)) \end{bmatrix} \quad (7)$$

根据式 (7) 可求出模值和幅角。图像小波分解后，所求模的局部极大值就是图像的奇异点，存储这些点的位置。根据这些奇异点就可以提取图像边缘。图像边缘检测结果见图 2。

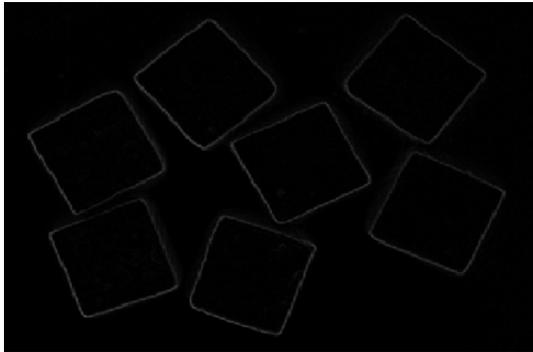


图 2 图像边缘检测结果  
Fig.2 Image edge detection results

考虑到传统小波变换在食品图像识别精度和准确性仍有不足，为解决此问题，文中提出了一种改进算法可以增强图像特征，进一步提高缺陷识别的准确性。改进算法主要涉及一种增强函数，其表达式可描述为：

$$E_n(S^j(m,n)) = M^j(m,n)S^j(m,n) \quad (8)$$

式中： $S^j(m,n)$  和  $M^j(m,n)$  分别为第  $j$  部分小波系数和增益量。 $S^j(m,n)$  和  $M^j(m,n)$  之间满足关系式：

$$M^j(m,n) = \begin{cases} 0 & |S^j(m,n)| \leq T_{\min} \\ 1 & |S^j(m,n)| > T_{\max} \\ \frac{|S^j(m,n)|_{\max}}{\max |S^j(m,n)|} & T_{\min} < |S^j(m,n)| \leq T_{\max} \end{cases} \quad (9)$$

式中： $T_{\max}$  为最大阈值； $T_{\min}$  为最小阈值； $|S^j(m,n)|_{\max}$  为小波系数最大模值； $\max |S^j(m,n)|$  为小波系数极大模值。基于上述算法可以实现食品包装图像边缘的检测，进而将图像从背景中分割出来，便于下一步特征提取和缺陷识别。图像增强处理结果见图 3。

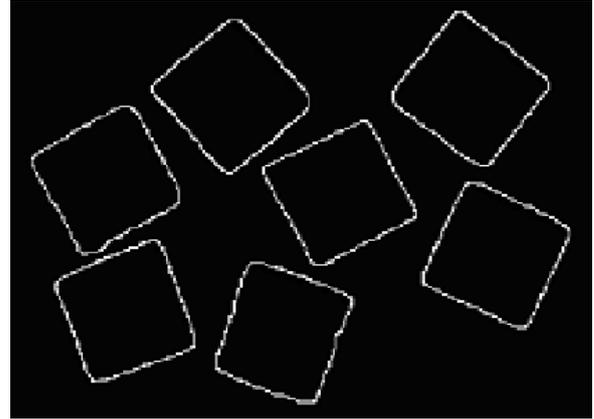


图 3 图像增强处理结果  
Fig.3 Image enhancement processing results

## 2.2 特征提取

食品包装过程中不可避免会出现各种缺陷，例如：飞墨、脏点、刮板、刀丝等。以飞墨和脏点为例，其形状大多为圆形或椭圆形，形状大小一般不固定。对于这种缺陷通常可使用长径  $l$  以及圆形度  $\rho$  进行特征描述，具体计算公式为：

$$l = \max(l_x, l_y) \quad (10)$$

式中： $l_x$  和  $l_y$  分别为  $x$  方向和  $y$  方向的长度。

$$\rho = 4\pi \cdot s / c^2 \quad (11)$$

式中： $s$  为面积，可认为整个缺陷区域所有像素的集合； $c$  为周长，可认为缺陷区域整条边界所有像素的集合。

以刮板、刀丝为例，其形状大多为均匀直线，走势往往与食品包装流水线前进方向一致。对于这种缺陷可使用长宽比  $k$  描述其特征，具体计算公式为：

$$k = l_y / l_x \quad (12)$$

以墨色浓淡、颜色失真为例，其分布一般比较均匀，且与标准图像之间的色差不是很明显。为解决此问题，文中使用灰度标准差  $\sigma$  实现颜色区分，具体计算公式为：

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{s} \sum_{i=1}^s (h_i - E)^2} \quad (13)$$

式中： $h_i$  为缺陷区域不同像素的灰度值； $E$  为缺陷区域所有像素灰度均值，可表示为：

$$E = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s h_i \quad (14)$$

如上所述,如果缺陷区域灰度分布比较均匀,那么灰度标准差就会比较小;反之,灰度标准差越大,就说明缺陷区域灰度分布越不均匀。

### 3 实验研究

为验证所述方法对食品包装袋缺陷检测的有效性和可行性,文中进行了相关实验研究。实验对象:某品牌面包,体积约为 150 mm×100 mm×50 mm,包装袋不透明,与背景色差比较明显。实验方法:在包装袋表面人为制造刀丝、漏白、飞墨、蹭板、污染等 5 种不同缺陷,数量分别为 100 个;设定生产线速度为 1.5 m/s。对比:将文中所述方法与传统模板匹配法进行对比分析。实验平台搭建:采用 LED 光源,并将其固定在生产线上;工业相机同时固定在生产线上,用于检测包装袋材和包装产品;图像处理算法集成到 PC 中,PC 机分别与图像采集卡和执行终端连接。实验平台见图 4。



图 4 实验平台

Fig.4 Experiment platform

实验结果见表 1。从实验结果可以看出:采用文中所述图像处理方法及控制系统,能够大幅度提高机器视觉检测系统的相关性能,提高缺陷识别率和检测精度。除很小的漏白和细小的刀丝类缺陷外,其余缺陷均可被准确无误地检测出来。另外,所述检测方法不会对食品包装表面产生二次污染或损伤。实验结果表明,基于机器视觉的食品包装检测系统具有较高的检测精度和准确性,能够满足食品包装需求。

表 1 实验结果  
Tab.1 Experimental results

算法	污染		蹭板		飞墨		漏白		刀丝	
	漏检数	识别率/%								
传统模板匹配法	5	95	6	94	10	90	8	92	12	88
文中所述方法	0	100	0	100	0	100	1	99	1	99

### 4 结语

以食品包装检测为研究对象,重点讨论了食品外包装污染、划伤等类型缺陷检测,基于机器视觉设计了一种检测系统。总体来说,检测系统包括图像获取、图像分析和处理、控制执行等几个模块。讨论了图像处理过程中的几个关键技术。实验结果表明,所述检测系统具有比较高的检测精度和准确性,能够满足食品包装需求。所述图像处理方法具有一定的借鉴意义。

#### 参考文献:

- [1] 周阳,王正家,徐伟,等. 基于 HALCON 的大幅面柔性印刷品质量检测[J]. 湖北工业大学学报, 2016, 31(4): 14—16.  
ZHOU Yang, WANG Zheng-jia, XU Wei, et al. Large Format Print Quality Testing Based on HALCON[J]. Journal of Hubei University of Technology, 2016, 31(4): 14—16.
- [2] 童季刚,廖菲,罗良传. 一种机器视觉的瓶罐缺陷检测系统设计[J]. 机电工程技术, 2016, 45(8): 28—31.  
TONG Ji-gang, LIAO Fei, LUO Liang-chuan. Design of Bottle Cap Encapsulation Testing Based on Machine Vision[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2016, 45(8): 28—31.
- [3] 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.
- [4] 马宝秋. 基于图像小波变换的食品包装印刷缺陷检测方法[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(5): 212—215.  
MA Bao-qiu. Food Packaging Printing Defect Detection Method Based on Image Wavelet Transform[J]. Food Research And Development, 2017, 38(5): 212—215.
- [5] 张树君,陈大千,辛莹莹,等. 基于图像的 PET 瓶瓶盖和液位的检测设备[J]. 轻工机械, 2012, 31(2): 71—74.  
ZHANG Shu-jun, CHEN Da-qian, XIN Ying-ying, et al. Detection Device of PET Bottle and Liquid Based on Image[J]. Light Industry Machinery, 2012, 31(2): 71—74.
- [6] 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 De-

- tection and Realization in Food Packaging Based on Image Registration[J]. Computer Science, 2015, 42(8): 319—322.
- [7] 代小红, 王光利. 基于机器视觉的印刷品缺陷检测与识别[J]. 半导体光电, 2011, 32(5): 714—718.  
DAI Xiao-hong, WANG Guang-li. Inspection and Recognition on the Defects of Printed Matter Based on Machine Vision[J]. Semiconductor Optoelectronics, 2011, 32(5): 714—718.
- [8] 陈丽, 唐万有. 基于 DP 方法的印刷品图像检测技术研究[J]. 包装工程, 2014, 35(5): 116—120.  
CHEN Li, TANG Wan-you. Image Detection Technology of Printing Based on the DP Method[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(5): 116—120.
- [9] 胡方尚, 郭慧. 基于 ROI 模板的印刷品图像配准方法[J]. 东华大学学报(自然科学版), 2016, 42(4): 582—586.  
HU Fang-shang, GUO Hui. Printing Image Registration Based on ROI Template[J]. Journal of Donghua University(Natural Science), 2016, 42(4): 582—586.
- [10] 徐敏, 唐万有, 马千里, 等. 基于 Blob 算法的印刷缺陷在线检测的研究[J]. 包装工程, 2011, 32(9): 20—23.  
XU Min, TANG Wan-you, MA Qian-li, et al. Printing Defect On-line Detection Based on Blob Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(9): 20—23.
- [11] 张文娟, 康家银. 一种用于图像降噪的自适应均值滤波算法[J]. 小型微型计算机系统, 2011, 32(12): 2496—2498.  
ZHANG Wen-juan, KANG Jia-yin. Adaptive Mean Filtering Algorithm for Image Denoising[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2011, 32(12): 2496—2498.
- [12] 徐浪, 曾忠, 刘金赞, 等. 机器视觉在印刷缺陷在线检测中的应用与研究[J]. 计算机系统应用, 2013, 22(3): 186—190.  
XU Lang, ZENG Zhong, LIU Jin-zan, et al. Application and Research of Machine Vision on On-line Inspection for Printed Defect[J]. Computer Systems & Applications, 2013, 22(3): 186—190.
- [13] 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, SUN Tie-bo. Food Packaging Defects Detection Based on Machine Vision[J]. Food Research and Development, 2016, 37(24): 125—127.
- [14] 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. Image Edge Detection Based on Multi-scale Wavelet[J]. Popular Science & Technology, 2017, 19(11): 3—5.
- [15] 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.