

基于机器视觉的预包装食品检测

Research on pre-packaged food detection based on machine vision

李文秀 栾秋平

LI Wen-xiu LUAN Qiu-ping

(山东电子职业技术学院, 山东 济南 250200)

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

摘要: 基于机器视觉设计了一种缺陷检测系统, 该图像处理采用基于偏微分方程的去噪模型实现了图像去噪; 利用双阈值分割方法实现了缺陷区域的分割; 并采用 BP 神经网络根据周长、面积和圆弧度实现了缺陷分类。结果表明: 试验系统的整体漏检率为 0.17%, 检测精度比较高; 每个包装的检测耗时大约为 70 ms, 检测效率比较高; 该系统能很好地满足食品包装实时、快速、准确、稳定的检测要求。

关键词: 预包装; 机器视觉; BP 神经网络; 图像处理

Abstract: In order to improve the detection accuracy of pre-packaged food, a defect detection system based on machine vision was designed. The detection system mainly includes image acquisition module, image processing and analysis module, output execution module and so on. The image processing method was described in detail. The image denoising model based on partial differential equation was used. The defect region was segmented by double threshold segmentation method. Finally, BP neural network was used to classify defects according to circumference, area and roundness. The feasibility and effectiveness of the method were verified by experiments. The experimental results show that the overall omission rate is 0.17% and the detection accuracy is relatively high. The detection time of each package is about 70 milliseconds, so the detection efficiency is relatively high. The system can well meet the real-time, rapid, accurate and stable testing requirements of food packaging.

Keywords: pre-packaged; machine vision; BP neural network; image processing

预包装食品是指在包装材料或容器中预先定量包装、制作某些食品。随着消费水平的不断提高, 预包装食

品的外观情况已成为消费者关注的重点, 例如瓶口压盖、包装封口、标签内容、瓶身变形、喷码信息等。常见的预包装主要有塑料包装、纸包装、金属包装和玻璃包装。为解决包装检测问题, 大多数企业依靠人工检测, 一些有条件企业则采用机器视觉检测^[1-2]。

机器视觉检测就是利用光学装置和传感器自动接收、处理真实物体的图像, 进而获取有用信息用于自动化控制。通常情况下, 机器视觉检测系统由光源、传感器、工业相机、图像处理模块、控制模块等组成。机器视觉检测系统可从多方面提高工厂自动化水平, 如产品外观把控、过程标识监管、出厂信息控制等, 以达到降低工作强度、提高良品率等目的^[3-5]。检测过程中, 机器不会与被检测物直接接触, 可长时间工作, 稳定性好。但机器视觉检测系统普遍存在漏检、错检等问题, 检测精度需进一步提高^[6-7]。

试验拟以预包装食品检测为研究对象, 设计一种机器视觉检测系统, 并通过实验验证所述方法的可行性和有效性, 以为食品检测提供一种研究思路和方法。

1 检测系统

基于机器视觉的预包装食品检测系统主要由图像采集模块、图像处理模块、执行终端等部分组成, 其基本结构如图 1 所示。图像采集模块是利用工业相机获取预包装食品原始图像, 同时将其转换为二进制数据流。该模块主要由 LED 光源、工业相机、图像采集卡、相机触发器等组成。图像处理模块有两种选择: ① 智能相机, 其不仅具有拍照功能而且集成了图像预处理、通信等诸多功能, 使用起来比较方便, 但其内部图像处理算法相对固定, 在某种程度上限制了其应用推广; ② PC 机, 设计灵活、扩展性好, 可根据实际需求自由修改图像处理算法。综合考虑, 试验检测系统是基于 PC 机搭建图像处理模块。执行终端即实际操作机构, 可响应控制指令完成相关操作, 末端执行器的控制核心选用 PLC^[8]。

作者简介: 李文秀(1979—), 女, 山东电子职业技术学院讲师, 硕士。E-mail: 39918273@qq.com

收稿日期: 2020-06-19

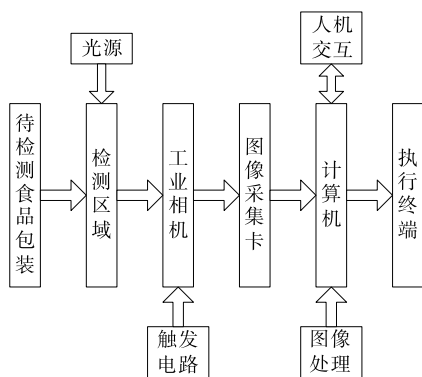


图 1 预包装食品检测系统基本结构图

Figure 1 Block diagram of pre-packaged food testing system

2 图像处理和特征提取

2.1 图像预处理

通常情况下,原始图像受干扰因素影响会不可避免地存在一些噪声,所以需事先处理。图像预处理可以提高图像清晰度和对比度,降低图像噪声。文中采用基于偏微分方程的去噪模型既可以有效去噪又可以保护图像轮廓^[9-10]。

如果理想图像用 $u(x, y)$ 表示,包含噪声的图像用 $u_0(x, y)$ 表示,则二者之间的关系可描述为:

$$u_0(x, y) = u(x, y) + n(x, y), \quad (1)$$

式中:

$n(x, y)$ —— 噪声。

为了去除图像噪声,可建立偏微分方程去噪模型,即:

$$\min \int_{\Omega} \sqrt{u_x^2 + u_y^2} dx dy, \quad (2)$$

$$\begin{cases} \int_{\Omega} u dx dy = \int_{\Omega} u_0 dx dy \\ \int_{\Omega} \frac{1}{2} (u - u_0)^2 dx dy = \sigma^2, \sigma > 0 \end{cases}, \quad (3)$$

式中:

Ω —— 图像域。

基于 Lagrange 方程和最速下降法可得去噪图像 $I(x, y)$:

$$I = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u_x}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{u_y}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}} \right) - \lambda(u - u_0) t > 0; x, y \in \Omega, \quad (4)$$

$$\lambda = -\frac{1}{2\sigma^2} \int \left[\frac{\sqrt{u_x^2 + u_y^2} - \left(\frac{u_{0x}u_x}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}} + \frac{u_{0y}u_y}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}} \right)}{dx dy} \right] dx dy, \quad (5)$$

式中:

λ —— Lagrange 乘子。

2.2 图像分割

采用一种双阈值分割缺陷提取方法,即提出一种基于双阈值分割的缺陷提取算法,选用面积阈值和灰度阈值将缺陷分割出来。

首先,增强图像对比度。假设初始阈值为 T ,如果灰度值 $f(x, y) \leq T$,则可令灰度值为 0,即不处理;如果 $f(x, y) \geq T$,则进行对数灰度变换,相关表达式为:

$$g(i, j) = \begin{cases} 0, f(i, j) \leq T \\ 40 \lg [f(i, j) - T], f(i, j) > T \end{cases}. \quad (6)$$

此外,初始阈值 T 可用灰度峰值 $B(i, j)$ 和最小可视差之和表示,即:

$$T = B(i, j) + JND. \quad (7)$$

$f(x, y) \leq T$ 可视作背景像素。最小可视差 JND 可表示为:

$$JND = \begin{cases} 21 \left[1 - \sqrt{\frac{B(i, j)}{127}} \right] + 4, B(i, j) \leq 127 \\ \frac{3}{128} \times [B(i, j) - 128] + 4, B(i, j) > 127 \end{cases}. \quad (8)$$

灰度变换处理完成后,图像对比度进一步增强。假设面积阈值为 A ,定义连通区域的像素面积为 S_i 。如果 $S_i < A$,则连通区域内所有像素灰度值为 0。定义原始灰度值为 $f(i, j)$,经处理后,则有:

$$g(i, j) = \begin{cases} 0, S_i < A \& (i, j) \in S_i \\ f(i, j), S_i > A \end{cases}. \quad (9)$$

文中所研究缺陷的面积最小值为 0.01 mm^2 ,约为 50 个像素点的面积,所以面积阈值可设定为 50。

2.3 特征提取

利用 2.2 图像处理步骤可以得到缺陷的各种特征参数,包括周长、面积、圆形度和矩形度等。可根据这些特征参数作为区分缺陷类型的主要根据^[11-13]。选用 BP 神经网络实现缺陷特征和缺陷类型之间的映射。

图像缺陷的种类较多,文中选择 3 种比较常见的缺陷类型作为研究对象,即麻点、异物和划痕,如图 2 所示。

综上,BP 神经网络的输入变量为 3 个,即周长、面积和圆形度;输出变量 1 个,可分为麻点、异物和划痕等。为提高数据处理的便利性,可将 3 种缺陷分别量化为 1——麻点、2——异物、3——划痕。

在神经网络输入和输出一定的情况下,隐含层节点数可表示为:

$$h = \sqrt{m + n} + a, \quad (10)$$

式中:

h —— 隐藏层节点数;

m —— 输入节点数;

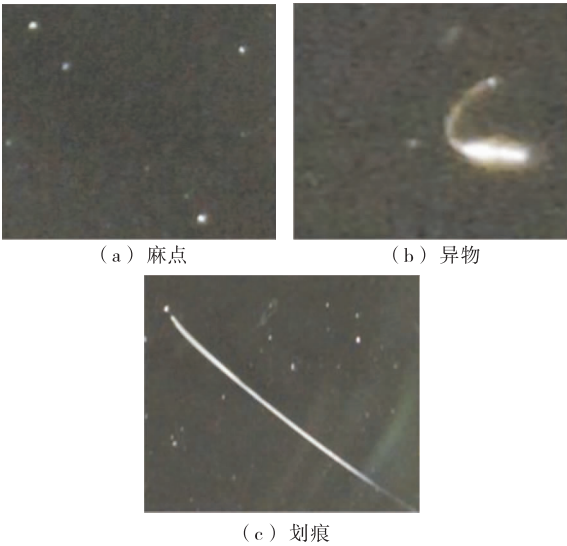


图2 图像缺陷类型

Figure 2 Image defect type

n ——输出节点数;
 α ——调节系数,0~10。

缺陷样本如表1所示,该样本可用于特征提取。可将样本数据分为两组,其中一组用于训练,另一组用于测试。

综上,BP神经网络的训练过程可以描述为:

① 利用Matlab工具归一化处理相关数据,即所有特征值均转化为 $[-1,1]$ 的数值。这样可以缩小输入数据和输出数据之间的数量级差距,减小网络预测误差。

② 搭建3输入1输出的BP神经网络,隐含层节点数可参照式(10)确定。

③ 选择合适的激活函数,同时设定目标误差、学习速率以及训练次数等参数。

④ 样本训练,同时存储训练结果。

⑤ 测试样本数据输入并进行相关仿真测试。

⑥ 反归一化处理仿真输出结果并计算误差率。

该BP神经网络在不同训练次数下的误差率如表2所示。由表2可知,当训练次数 >10 时,平均误差率 $<10\%$ 。

表1 缺陷样本

Table 1 Defect sample

代号	缺陷	面积	周长	圆形体
1	麻点	39	22.45	1.14
2	异物	251	68.37	0.58
3	划痕	5 435	1 103.87	0.05
1	麻点	48	25.45	1.04
2	异物	223	60.37	0.68
3	划痕	6 144	1 205.57	0.05
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

表2 不同训练次数下的误差率

Table 2 The error rate of different training times

%			
训练次数	误差率	训练次数	误差率
1	8.99	7	8.67
2	7.89	8	9.43
3	8.36	9	10.45
4	13.05	10	11.35
5	6.34	11	10.68
6	8.24	平均值	9.40

3 试验验证

为验证所述方法的可行性和有效性,以某纸质矩形食品包装为试验对象进行验证。光源采用LED条形组合照明灯;相机为CCD工业相机、频闪光,共6台,从6个方面同时拍照;检测系统主要包含品牌信息、当前信息和检测信息等;品牌信息可参照标准图像对品牌图像进行删除、修改等操作;当前信息包含当前系统的相关配置情况;检测信息可识别、存储缺陷图像,如果发现缺陷图像会自动报警并分类。该机器视觉检测系统可以较好地实现纸质矩形食品包装全方位检测,可识别麻点、异物、划痕等缺陷,此外,对错牌、褶皱、破损、印刷错误等缺陷也有较高的识别率。试验过程中,设定样品数为10 000,缺陷样本包含严重和一般两种。

试验结果表明:一般缺陷漏检15个,漏检率为0.15%;严重缺陷漏检2个,漏检率为0.02%;整体漏检率为0.17%,检测精度比较高。另外,每个包装的检测耗时大约为70 ms,检测效率比较高,可满足预包装对实时性和检测精度的要求。整个检测系统可自动保存缺陷图像,用户可自由浏览缺陷图像,使用方便、容易推广使用。

4 结论

以预包装食品检测为研究对象,提出了一种机器视觉包装缺陷检测方法。结果表明:该系统检测精度高,漏检率较低,系统实时性较好;该预包装食品检测方法兼具精度和效率,同样适用于错牌、褶皱、破损、印刷错误等缺陷,具有一定的推广价值。但是,该研究主要针对麻点、异物、划痕等常见缺陷,其他类型缺陷的检测仍需寻找更加合适的提取特征,以便进一步研究。

参考文献

[1] 陈静,梁俊毅.基于机器视觉的禽蛋外观品质在线检测系统设计[J].食品工业,2020,41(5):232-234.
[2] 刘彩霞,杨春.基于机器视觉的食品码垛机器人控制系统设计[J].食品工业,2020,41(1):231-233.
[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.

(下转第176页)

- [2] BRAHIM D. Hot-air drying and rehydration characteristics of red kidney bean seeds[J]. Chemical Engineering Communications, 2015, 203(5): 599-608.
- [3] DOYMAZ I, DENIR H, YILDIRIM A. Drying of quince slices: Effect of pretreatments on drying and rehydration characteristics[J]. Chemical Engineering Communications, 2015, 202(10): 1 271-1 279.
- [4] THERON M M, LUES J F R. Organic acids and meat preservation: A review[J]. Food Reviews International, 2007, 23(2): 141-158.
- [5] ANDRE B, CALSTEREN M R V. Antimicrobial films produced from chitosan[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 1999, 26(1): 63-67.
- [6] 余洁. 草酸处理减轻樱桃番茄果实采后冷害的机理研究[D]. 杭州: 浙江工商大学, 2015: 11-15.
- [7] 田密霞, 胡文忠, 朱蓓薇, 等. 抗坏血酸处理对鲜切水晶梨营养成分及褐变的影响[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(1): 156-159.
- [8] 范林林, 赵文静, 赵丹, 等. 柠檬酸处理对鲜切苹果的保鲜效果[J]. 食品科学 2014, 35(18): 230-236.
- [9] DOYMAZ I, ALTINER P. Effect of pretreatment solution on drying and color characteristics of seedless grapes[J]. Food Science and Biotechnology, 2012, 21(1): 43-49.
- [10] TARHAN S, ERGUNES G, TASER O F. Selection of chemical and thermal pretreatment combination to reduce the dehydration time of sour cherry[J]. Journal of Food Process Engineering, 2006, 29(6): 651-663.
- [11] IBRAHIM D. Drying of potato slices: Effect of pretreatments and mathematical modeling[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2012, 36(4): 310-319.
- [12] XIAO Hong-wei, YAO Xue-dong, LIN Hai, et al. Effect of SSB (Superheated Steam Blanching) time and drying temperature on hot air impingement drying kinetics and quality attributes of yam slices[J]. Journal of Food Process Engineering, 2012, 35(3): 370-390.
- [13] 姜丹, 胡文忠, 姜爱丽, 等. 紫外线照射与柠檬酸处理对鲜切苹果的保鲜作用[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(7): 2 482-2 488.
- [14] STANISLAW R, DARIUSZ D, ANDRZEJ K. Influence of pre-treatments and freeze-drying temperature on the process kinetics and selected physico-chemical properties of cranberries (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) [J]. LWT-Food Science & Technology, 2015, 63(1): 497-503.
- [15] 崔莉, 宋双双, 杜利平, 等. 低温鼓风干燥过程中皱皮木瓜的褐变及其活性成分变化研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(6): 70-74.
- [16] 王海鸥, 扶庆权, 陈守江, 等. 预处理方式对真空冷冻干燥苹果片品质的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 126-130.
- [17] ZIELINSKA M, SADOWSKI P, BŁASZCZAK W. Freezing/thawing and microwave-assisted drying of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 62(1): 555-563.
- [18] 裴斐. 双孢蘑菇冷冻干燥联合微波真空干燥传质动力学及干燥过程中风味成分变化研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014: 22-25.
- [19] 谭礼斌. 果蔬多孔介质干燥热质传递及应力应变研究[D]. 西安: 陕西科技大学, 2017.
- [20] CHANDRA S, KUMARI D. Recent development in osmotic dehydration of fruit and vegetables: A review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2015, 55(4): 552-561.
- [21] RUDY S, DZIKI D, KRZYKOWSKI A, et al. Influence of pre-treatments and freeze-drying temperature on the process kinetics and selected physico-chemical properties of cranberries (*Vaccinium macrocarpon* Ait.) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 63(1): 497-503.
- [22] 周永妍. 抗坏血酸/酸性氨基酸体系非酶褐变反应研究[D]. 恩施: 湖北民族学院, 2015: 5-6.
- [23] SEFC B, TRAJKOVIC J, HASAN M, et al. Dimensional stability of wood modified by citric acid using different catalysts[J]. Drvna Industrija, 2009, 60(1): 23-26.
- [24] FEMENIA A, GAROSI P, ROBERTS K, et al. Tissue-related changes in methyl-esterification of pectic polysaccharides in cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) stems[J]. Planta, 1998, 205(3): 438-444.

(上接第 157 页)

- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 裴悦琨, 叶家敏, 姜艳超, 等. 基于机器视觉的樱桃形状及大小检测技术[J]. 食品工业, 2020, 41(8): 199-202.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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): 2 496-2 498.
- [13] 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(9): 20-23.