

机械与过程控制

基于机器视觉的注射液针头胶帽缺陷检测

唐启慧, 谷紫颖, 李振华

(山东大学 控制科学与工程学院, 济南 250061)

摘要: **目的** 封装检测是保证流水线上产品质量的关键。针对预罐装注射液, 提出一种基于机器视觉的注射液针头胶帽缺陷的实用检测算法。**方法** 算法首先采用以灰度分布概率作为度量标准的直方图双峰法, 对图像进行阈值分割; 随后依据以特征角点为中心延伸出的4个象限区域进行特征分析, 定位胶帽下边沿左、右角点, 以计算胶帽高度; 将对称轴点集进行分段直线拟合, 得到对称轴所有可能的斜率和截距, 基于边缘信息计算最优对称轴和胶帽倾斜角。**结果** 采用多组图像检验算法缺陷检测, 实验结果显示检测成功率达到97.86%。**结论** 该算法能够对针头胶帽的多种缺陷进行检测, 对不合格产品进行分类。

关键词: 预罐装注射液; 缺陷检测; 阈值分割; 角点定位; 对称轴检测

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)13-0201-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.13.029

Defect Detection for Needle Cap of Injection Based on Machine Vision

TANG Qi-hui, GU Zi-ying, LI Zhen-hua

(School of Control Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China)

ABSTRACT: Packaging detection is the key to ensuring product quality on the production line. The work aims to propose a practical algorithm based on machine vision for defect detection of the needle cap of the injection, regarding the prefilled injection. Firstly, the algorithm used the histogram bimodal method which took grayscale distribution probability as the measurement standard for the threshold segmentation of the image. Then, four regions extended with the characteristic corner as the center were subject to characteristic analysis. The detection of left and right corners at the lower edge of cap were made to calculate the cap height. The straight-line fitting of symmetry axis point set was conducted by segments to get all possible slopes and intercepts of the symmetry axis. The optimal symmetry axis and inclination of cap were calculated based on the edge information. The detection of algorithm defects was verified by multiple sets of images. The experimental results showed that the detection rate reached 97.86%. The proposed algorithm can detect various defects of the needle cap and classify the unqualified products.

KEY WORDS: prefilled injection; defect detection; threshold segmentation; corner detection; symmetry axis detection

玻璃酸钠注射液是一种预罐装注射剂, 药品制造商需要按药品标准检验和证明注射剂有完善的微生物屏障。注射液玻璃针筒腔体内为透明粘稠液体, 两

端分别由柱塞和注射针尖密封。针尖上配有橡胶材质保护套, 若针头胶帽没有完全紧密地覆盖在针头上, 就不能有效保护针头、防止潜在污染, 因此对注射液

收稿日期: 2019-03-25

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFB0404200); 国家自然科学基金(61473172)

作者简介: 唐启慧(1995—), 女, 山东大学硕士生, 主攻图像处理及模式识别。

通信作者: 李振华(1976—), 男, 博士, 山东大学副教授, 主要研究方向为图像处理及模式识别、多传感器信息融合、目标跟踪以及嵌入式系统应用。

胶帽外观缺陷的检查有重要意义。目前,由人工肉眼观测这些缺陷,因观测和分拣结果随工人的精神状态、工作积极性而变化,检测结果不稳定。利用机器视觉代替人眼检测,保证产品质量的同时,有降低成本、提高检测精度等优势。

近年来,国内外专家学者开展了大量关于流水线上产品的自动缺陷检测研究。文献[1]中通过获取图像的几何信息与标准值对比,提出了基于连通域特征的玻璃瓶口缺陷检测方法。文献[2]中提出了一种产品表面缺陷的在线检测方法,完整提取出缺陷轮廓。图像的边缘信息在保持图像几何信息的同时,也是进一步图像处理和分析的基础,为了提取更精确的边缘,文献[3]中介绍了一种基于笔划编码的形态学处理方法,来消除毛刺和轮廓线裂缝,有效压缩灰度级区域,避免处理大量冗余信息。文献[4]在单尺度下用多个结构元素进行边缘检测,根据边缘灰阶值的差异进行像素点融合;再使用连通域方法抹去干扰区域,获得单尺度边缘检测图像。对称轴的提取也是缺陷检测的重要指标之一,例如自然图像对称轴检测^[5-6]、基于顶点数量和顺序的多边形对称轴检测^[7]、基于转动惯量的对称轴检测^[8]、基于霍夫变换的对称轴检测^[9]等。缺陷检测也需要合理的阈值分割算法把目标与背景分割出来,有基于邻域内像素灰度的分割^[10]、基于直方图的阈值分割^[11]、基于梯度图像的全局阈值分割^[12]等方法。因不同的产品具有不同的外观特性,可利用的有效特征就有所区别,在其他产品上行之有效的方法在胶帽缺陷检测中难以得到满意结果。

胶帽缺陷表现为胶帽的下边沿距离瓶身上边缘位置的过高或过低,或者胶帽的下边沿与水平位置有一定角度、某一边出现翘起而出现的倾斜形变,因此对胶帽缺陷的检测具有一定难度。针对上述缺陷特征,文中提出一套胶帽缺陷检测方案,包含基于角点为中心的四象限区域特征的角点定位、基于目标边缘的最优对称轴检测算法,以实现针头胶帽的缺陷分类检测。

1 图像采集照明方案

图像采集是缺陷检测技术中首要、不可或缺的一环,而照明方案和适宜的光源对采集的图像质量来说非常重要,图像的质量又决定之后图像处理的难易和视觉检测的效果。设计一个好的照明方案需要观察检测物的表现特征、物理特性和光学特性。

玻璃酸钠注射液针头的胶帽为深色橡胶材质,易发生形变,且具有不透光性;瓶身为外表面光滑的玻璃材质,具有反光特性和透光性。根据上述特征,采集图像选用 LED 均匀光源,以检测物为中心从其背后给光,见图 1。这种背光方式能够有效防止因灯光

照在有弧度的玻璃瓶壁上发生反射现象,使采集到的图像上可能产生光晕、光斑,以及检测目标不明显的情况。采用背光照亮物体能突出被检测物的特征部分对比度,获得高质量的图像。将图像传送至 PC 机,计算机依据药品标准,通过视觉缺陷检测方法对待检物质量作出判断。

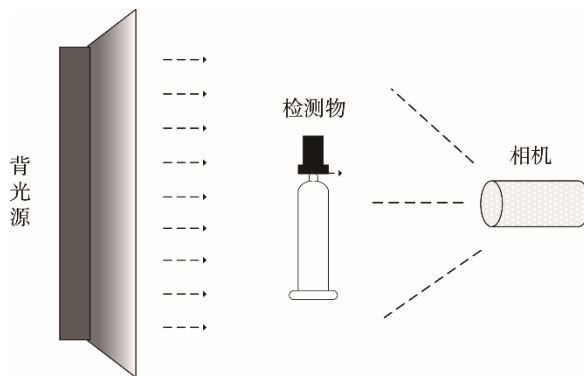


图 1 图像采集给光方式
Fig.1 Lighting scheme of image acquisition

2 针头胶帽缺陷检测

2.1 阈值分割

玻璃酸钠注射液原始图像可以分为背景和目标两大类,在同样的采集环境下,不同批次、不同药品的玻璃酸钠注射液的胶帽规格不同、颜色不同,造成图像的灰阶值有所差异,除此之外,也可能出现背景打光不均匀的情况,所以在灰度图像转化为二值图像的过程中,固定阈值分割显然无法满足要求。

基于灰度统计直方图双峰法,以灰度分布概率作为度量标准,提取最优阈值。玻璃酸钠注射液药品与图像背景的灰度值迥然不同,阈值把图像所有像素点分为背景和目标,设图像背景像素的灰度分布概率密度为 $\rho_1(l)$, 目标像素的灰度分布概率密度为 $\rho_2(l)$, 灰度直方图中曲线表现出双波峰,目标和背景灰度分布都近似正态分布,根据经验可知药品目标像素数与图像总像素数的比值为 α , 则灰度图像可用式 (1) 表示:

$$\rho(l) = (1 - \alpha) \cdot \rho_1(l) + \alpha \cdot \rho_2(l) \quad (1)$$

设分割阈值为 T , 则出现把目标像素点归到背景像素的错误判断的概率是:

$$E_2(T) = \int_T^{\infty} \rho_2(l) dl \quad (2)$$

背景像素点也有可能划分成目标像素,则总的误判率为:

$$E(T) = (1 - \alpha) \cdot E_1(T) + \alpha \cdot E_2(T) = (1 - \alpha) \cdot \int_0^T \rho_1(l) dl + \alpha \cdot \int_T^{\infty} \rho_2(l) dl \quad (3)$$

为了求满足 $E(T)$ 最小时的阈值, 对上面公式两

边求微分并令其为 0，可以得到分割图像的最佳阈值 T^* ：

$$T^* = \frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_2} \ln \frac{\alpha}{1 - \alpha} + \frac{\mu_1 + \mu_2}{2} \quad (4)$$

式中： μ_1 和 μ_2 分别为背景和目标灰度均值。

2.2 特征角点定位

精确地检测出图像中胶帽下边沿左右两角点，对实现胶帽缺陷检测具有重要的意义。利用玻璃酸钠注射液胶帽图像的形状特征和统计特征，设计了特征角点检测方法。

角点定位算法的基本思路是使用一个固定窗口在图像上进行任意方向上的滑动，在滑动的过程中，根据窗口中的像素的灰度统计特征作为角点响应度量，可以此来判断窗口中是否存在角点。

2.2.1 构造窗函数

设二值图像为 $f(x, y)$ ，需要寻找的特征角点为 $f(i, j)$ ，以 $f(i, j)$ 像素点为中心向外延伸出去分成一个有 4 个象限的方形空间，作为窗口函数 $w(x, y)$ ；定义 λ 为向外延伸的距离，满足 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = \lambda^2$ ，特征角点延伸区域划分见图 2。为了避免角点的定位超出边界，设 $i \in [\lambda + 1, X - \lambda]$ ， $j \in [\lambda + 1, Y - \lambda]$ ，其中 X 和 Y 表示二值图像 $f(x, y)$ 行和列的最大值，即 $f(i, j) \in f(x, y)$ 。

$$\begin{aligned} R_1 &= \sum_{k=0}^{\lambda} f(i+k, j-k) \\ R_2 &= \sum_{k=0}^{\lambda} f(i-k, j-k) \\ R_3 &= \sum_{k=0}^{\lambda} f(i-k, j+k) \\ R_4 &= \sum_{k=0}^{\lambda} f(i+k, j+k) \end{aligned} \quad (5)$$

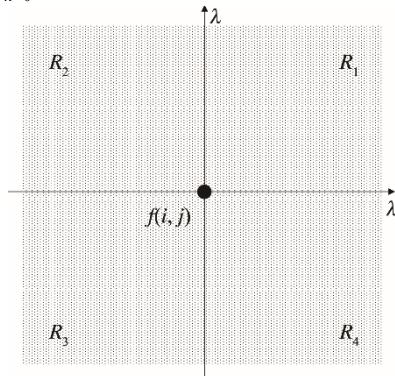


图 2 特征角点延伸区域划分

Fig.2 Division of extended area of the characteristic corner

2.2.2 角点响应度量

根据角点像素的统计特征，胶帽下边沿左右 2 个角点响应度量为：

$$f(i, j_{\min}) = (0 \leq R_1 < \varepsilon) \&\& (R_3 = \lambda^2) \&\& (R_2 > \lambda^2 - \varepsilon) \&\& (R_4 > \lambda^2 - \varepsilon) \quad (6)$$

$$f(i, j_{\max}) = (0 \leq R_2 < \varepsilon) \&\& (R_4 = \lambda^2) \&\& (R_1 > \lambda^2 - \varepsilon) \&\& (R_3 > \lambda^2 - \varepsilon) \quad (7)$$

式中： ε 为容错数量值。通过窗口函数在二值图像上滑动，可以搜索出左角点 $f(i, j_{\min})$ 与右角点 $f(i, j_{\max})$ 。

2.3 胶帽对称轴检测

2.3.1 对称抽点集提取

阈值分割后得到的二值图像药品目标为黑色像素点，背景为白色像素点。二值图的每一行分别从左向右、从右向左 2 个方向上扫描，搜索到第 1 个为黑色像素点的前一个点，作为边缘点，因此图像的每一行中有 2 个像素点，分别构成左右边缘。假设胶帽图像的左右边缘点 $P(x_i, y_i)$ 和 $P(x_j, y_j)$ 关于中轴线对称，其中 $i < Y$ ， $j < Y$ ， Y 为二值图像最大列，如果分别为左右边缘上的两点满足：

$$x_i = x_j \quad (8)$$

则左右边缘上 2 点在同一水平线上，胶帽图像的对称轴点集 M 可以表示为：

$$M = \{(x, y) \mid x = x_i, y = (y_i + y_j) / 2\} \quad (9)$$

2.3.2 分段直线拟合点域划分

对称轴点集 M 中所有点按像素坐标大小顺序排列，各像素点记为 $P_i (i \in [1, n])$ ，共计 n 个点，取 P_i 到 $P_{i+n_0-1} (i \in [1, n+n_0-1])$ 连续 n_0 个点作直线拟合，并记录直线斜率 k_i ，连续 n_0 个点进行直线拟合，共记录 $n-n_0$ 个斜率值，斜率变化反应了胶帽歪斜情况。拟合直线斜率折线图见图 3，图中 2 条折线分别表示合格品和不合格药品的中轴线点集拟合直线的斜率变化。胶帽顶端和瓶身分别对应的斜率是 k_1 和 k_2 ，合格品的胶帽与瓶身的对称轴几乎具有相同的斜率，满足 $|k_1 - k_2| < \theta$ ；不合格品的胶帽与瓶身的对称轴线会形

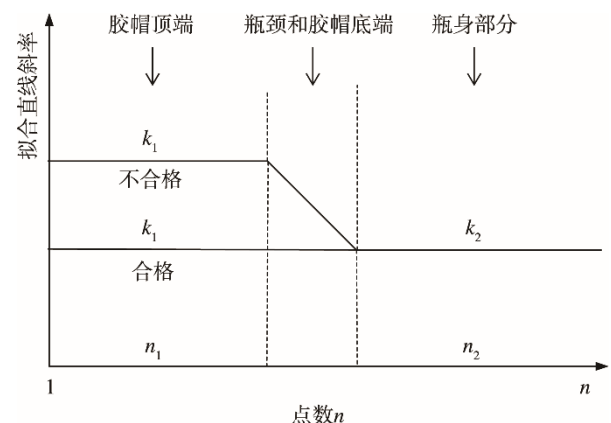


图 3 拟合直线斜率

Fig.3 Slope of the fitting line

成一个夹角,满足 $|k_1 - k_2| \geq \theta$,其中 θ 是允许的误差角度。根据此特点进行点域划分,用 $P_1 \sim P_{k_1}$ 共 m_1 个点, $P_{k_2} \sim P_n$ 共 m_2 个点,2组点分别进行直线拟合。

2.3.3 最优对称轴检测算法

通过前面的处理,将对称轴点集进行了点域划分。为了获得胶帽图像的对称轴,基于左右边缘计算对称轴方程,方法如下所述。

1) 采用最小二乘法对对称轴点集进行分段直线拟合,设对称轴直线方程为 $y = kx + b$,通过下面2个公式获得所有可能的斜率和截距:

$$b = \frac{\sum_{i=1}^m y_i}{m} - k \cdot \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m} \quad (10)$$

$$k = \frac{\sum_{i=1}^m x_i \cdot y_i - (\sum_{i=1}^m x_i \cdot \sum_{i=1}^m y_i) / m}{\sum_{i=1}^m x_i^2 - (\sum_{i=1}^m x_i)^2 / m} \quad (11)$$

2) 计算对称点。假设一条边缘上的点为 (x_1, y_1) ,关于对称轴方程的对称点 (x'_1, y'_1) 可以表示成:

$$\begin{cases} x'_1 = \frac{2y_1 - 2b - (k - 1/k)x_1}{k + 1/k} \\ y'_1 = \frac{(k^2 - 1)y_1 + 2kx_1 + 2b}{k^2 + 1} \end{cases} \quad (12)$$

3) 计算距离平方和。对称轴的对称点 (x'_1, y'_1) 到另一条边缘距离的平方和为:

$$d_1 = (x_1 - x'_1)^2 + (y_1 - y'_1)^2 \quad (13)$$

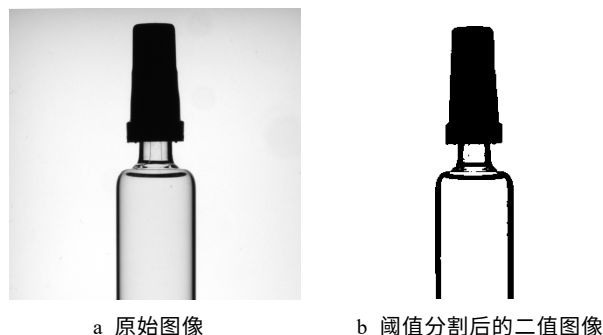
4) 获取最优对称轴。一条边缘关于对称轴对称的点与另一条边缘的距离之和为:

$$\text{Sum} = \sum d_i = \sum (x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2 \quad (14)$$

当Sum最小时认为对称轴得到最佳斜率和截距,即最优对称轴。

3 实验与分析

图像分割前后的效果见图4,原始图像中存在背景光照不均匀的情况,文中分割算法准确将目标与背景分割。边沿角点检测的结果见图5。为了进一步检测缺陷,从定位到的2个角点向下扫描图像,直到瓶



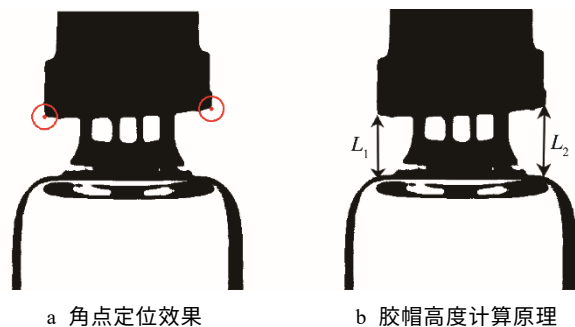
a 原始图像

b 阈值分割后的二值图像

图4 玻璃酸钠注射液图像

Fig.4 Image of sodium hyaluronate injection

身的上边缘第一个黑色像素点,扫描的距离分别为 L_1, L_2 。将扫描距离与标准距离作对比,由此判断胶帽是否满足一定的高度,过高或过低均为不合格药品。对称轴检测算法的实验效果见图6。对称轴斜率分析见图7,横轴为对称轴点集,纵轴表示计算得到的对称轴与垂直方向的偏角,可以清晰看出不合格药品的胶帽对称轴与垂直方向的偏角大小。

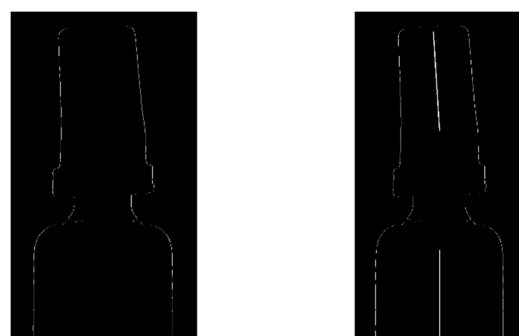


a 角点定位效果

b 胶帽高度计算原理

图5 特征角点检测效果

Fig.5 Characteristic corners detection effect



a 有歪帽缺陷的不合格药品的边缘图像

b 胶帽和瓶身的对称轴图像

图6 对称轴检测效果

Fig.6 Detection effect of symmetry axis

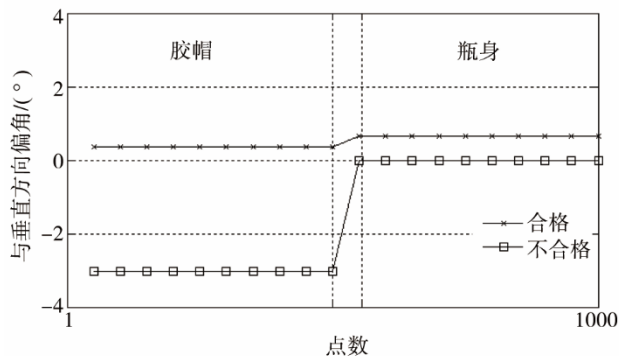


图7 轴线与垂直方向角度

Fig.7 Angle between an axis and a vertical direction

为了进一步分析对称轴检测算法的有效性,对8幅测试图像所测得的胶帽与瓶身的对称轴偏角和运行时间数据进行分析,见表1。可以看出,两点法所得到的对称轴角度与实际值误差大且不稳定,转动惯量法^[8]与文中方法都可以较真实地反映偏角度。二值

表 1 3 种对称轴检测算法对比
Tab.1 Comparison of three detection algorithms for symmetry axis

图像 序号	手工测量 倾斜角/(°)	对称轴测量/(°)			运行时间/ms		
		两点法	转动惯量法	文中方法	两点法	转动惯量法	文中方法
1	2.80	3.52	3.09	2.85	5.2	9.1	8.4
2	-0.15	-0.23	-0.18	-0.16	5.5	9.0	7.9
3	0.50	0.22	0.62	0.52	5.9	8.9	7.5
4	-3.00	-4.68	-3.01	-2.99	5.7	9.1	7.9
5	0.00	0.02	0.01	0.02	5.2	8.7	7.3
6	2.25	3.34	2.54	2.44	6.3	9.8	8.3
7	1.20	1.06	1.17	1.20	5.8	9.0	8.0
8	1.05	1.00	1.00	1.04	5.8	8.8	8.1

化后文中算法的平均运行时间为 7.9 ms，二点法和转动惯量法分别为 5.7, 9.1 ms。在保证对称轴测量可靠的情况下，文中算法在运行时间上优于转动惯量法。

3.1 精度分析与误差设置

对倾斜角计算过程中，由于单次计算得到的倾斜角具有很大的随机性，所以需要进行多次测量，取多次测量的标准差 δ 作为算法倾斜角的误差。计算标准差的公式为：

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\theta - \bar{\theta})^2}{N - 1}}$$

(15)

通过对一幅样品图像进行 10 次实验求取 δ ，得到算法的倾斜角误差为 0.05°。

在设置倾斜角误差范围时，测量得到的实验药品胶帽下边沿直径为 7.50 mm，瓶身直径为 10.0 mm，胶帽高度为 15.0 mm。根据先验结果，设置≤0.85°为倾斜角允许误差，当误差满足条件时，判为合格药品。

3.2 缺陷检测结果

为了验证缺陷检测算法的有效性，在 Matlab 环

境下进行仿真实验，测试的重点是评估胶帽缺陷检测算法的能力。采用 4 组图像集作为测试对象，记录每组图像中图像幅数(N)、缺陷类型(歪帽(C)、高帽(H)、合格(Q))和检测错误数量(NI)，根据统计数据计算误检率(ER)和检测率(CR)，见表 2。从检测结果可以看出，文中算法对测试图像的缺陷检测成功率为 97.86%。

表 2 不同缺陷类型检测率结果
Tab.2 Detection rate results of different types of defects

序号	N	缺陷类型	NI	ER/%	CR/%
实验图像集1	30	C/Q	0	0	100
实验图像集2	30	H/Q	1	3.33	96.67
实验图像集3	40	C/H	1	2.50	97.50
实验图像集4	40	C/H/Q	1	2.50	97.50
综合数据	140	C/H/Q	3	2.14	97.86

在所有实验数据中，选取出了 6 组具有代表性特征的数据展开进一步分析，结果见表 3。根据上述实验结果，证明了提出的检测算法实用有效。

表 3 缺陷检测算法实验结果
Tab.3 Experiment results of defect detection algorithm

序号	L_1 (像素数)	L_2 (像素数)	$ L_1 - L_2 $	L_1 / L_2	胶帽倾斜角/(°)	缺陷分析	检测结果
实验1	98	113	15	0.8673	2.85	歪帽	不合格
实验2	131	129	2	1.0155	-0.16	高帽	不合格
实验3	112	121	9	0.9256	0.52	无	合格
实验4	120	101	19	1.1881	-2.99	歪帽	不合格
实验5	117	118	1	0.9915	0.02	无	合格
实验6	130	130	0	1.0000	0.03	高帽	不合格

4 结语

为了实现玻璃酸钠注射液针头胶帽缺陷的自动检测分类，分析了待检测药品的特点，采用背光照明方案采集图像，接着提出了一种胶帽缺陷检测算法。

算法首先对采集到的图像进行预处理，基于直方图双峰法，以灰度分布概率作为度量标准，分割图像的目标和背景。针对高帽与歪帽缺陷，设计了基于角点为中心的四象限特征的角点定位算法，得到胶帽下边沿左右角点的位置信息；又提出了一种基于目标边缘的

最优对称轴检测的算法, 计算胶帽的倾斜角, 利用上述信息对注射液针头胶帽的缺陷进行分析、分类。Matlab 环境下采用 4 组图像集进行仿真实验, 不同缺陷类型图像共 140 幅, 检测准确率达到 97.86%, 从理论和数据上都证明了该算法对胶帽缺陷检测效果好。针对目前研究和工作进展, 为了满足工业流水线上高速、高精度、高实时性要求, 算法还需要进一步优化。

参考文献:

- [1] FU Li, ZHOU Hang, GONG Yu, et al. The Method for Glass Bottle Defects Detecting Based on Machine Vision[C]// Control & Decision Conference. IEEE, 2017.
- [2] LI Q, ZHANG S, ZHANG Z. Online Surface Defects Detection System for Cold-rolled Steel Strip[J]. Recent Patents on Engineering, 2017, 11(1).
- [3] MIN Yong-zhi, XIAO Ben-yu, DANG Jian-wu, et al. Real Time Detection System for Rail Surface Defects based on Machine Vision[J]. Eurasip Journal on Image & Video Processing, 2018.
- [4] 黄思尉, 田小林, 孙延奎. 眼前节组织 OCT 图像边缘检测及特征角点提取[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(25): 159—162.
HUANG Si-wei, TIAN Xiao-lin, SUN Yan-kui. Anterior Chamber OCT Images Edge Detection and Extraction of Feature Corner Points[J]. Computer Engineering and Applications, 2012, 48(25): 159—162.
- [5] CAI D, LI P, SU F, et al. An Adaptive Symmetry Detection Algorithm Based on Local Features[C]// Visual Communications & Image Processing Conference, 2015.
- [6] 沈为, 程小青, 曾丹. 基于边缘特征学习的自然图像对称轴检测[J]. 上海大学学报(自然科学版), 2014, 20(6): 715—725.
SHEN Wei, CHENG Xiao-qing, ZENG Dan. Symmetry Detection in Natural Images via Edge Feature Learning[J]. Journal of Shanghai University(Natural Science), 2014, 20(6): 715—725.
- [7] 宋保运. 一种新的检测多边形对称轴的方法[J]. 洛阳理工学院学报(自然科学版), 2014, 24(2): 58—61.
SONG Bao-yun. A Novel Detection Method for Axis of Symmetry of Polygon[J]. Journal of Luoyang Institute of Science and Technology(Natural Science Edition), 2014, 24(2): 58—61.
- [8] 王丹丹, 徐越, 宋怀波, 等. 基于平滑轮廓对称轴法的苹果目标采摘点定位方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(5): 167—174.
WANG Dan-dan, XU Yue, SONG Huai-bo, et al. Localization Method of Picking Point of Apple Target Based on Smoothing Contour Symmetry Axis Algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(5): 167—174.
- [9] LI Xiao-lei, PAN Jin-xiao, LIU Bin, et al. Symmetric Axis Detection for Images Based on Hough Algorithm[J]. Journal of Measurement Science and Instrumentation, 2015, 6(4): 342—346.
- [10] CHEN Jia-quan, GUAN Bing-lei, WANG Hai-lun, et al. Image Thresholding Segmentation Based on Two Dimensional Histogram Using Gray Level and Local Entropy Information[J]. IEEE Access, 2018, 6(99): 5269—5275.
- [11] 张文娟, 潘晓岚. 基于灰度直方图的阈值分割算法分析与比较[J]. 科技资讯, 2006(14): 12—13.
ZHANG Wen-juan, PAN Xiao-lan. Analysis and Comparison of Threshold Segmentation Algorithm Based on Gray Histogram[J]. Science Technology Information, 2006(14): 12—13.
- [12] NEOIGE N, MOHANTA D K, DUTTA P K. Defect Detection of Steel Surfaces with Global Adaptive Percentile Thresholding of Gradient Image[J]. Journal of the Institution of Engineers, 2017, 98(6): 557—565.
- [13] 朱惠峰, 王耀南, 周博文, 等. 异形瓶装溶液内杂质的机器视觉在线检测系统[J]. 仪表技术与传感器, 2009(10): 48—51.
ZHU Hui-feng, WANG Yao-nan, ZHOU Bo-wen, et al. Machine Vision Online Detection System for Irregular Bottled Solution Impurities[J]. Instrument Technique and Sensor, 2009(10): 48—51.
- [14] 于明, 肖志涛, 张海哲, 等. 图像视觉特征描述中基于相位信息的对称性检测[J]. 河北工业大学学报, 2004, 33(3): 38—41.
YU Ming, XIAO Zhi-tao, ZHANG Hai-zhe, et al. Phase Congruency Based Symmetry Detection in Image Feature Description[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2004, 33(3): 38—41.
- [15] 洪磊, 杨小兰, 钟冬平. 基于斜率分析法的焊缝条纹直线特征提取分析[J]. 焊接学报, 2017, 38(8): 91—94.
HONG Lei, YANG Xiao-lan, ZHONG Dong-ping. Feature Extraction and Analysis of Weld Seam Stripe Line on Slope Analysis Method[J]. Transactions of the China Welding Institution, 2017, 38(8): 91—94.
- [16] 赵众, 常灿, 陈磊. 基于图像识别技术的烟包封条缺陷检测[J]. 北京工业大学学报, 2014, 40(7): 986—991.
ZHAO Zhong, CHANG Can, CHEN Lei. Detection Method for Cigarette Packet Seal Based on Image Recognition Technology[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2014, 40(7): 986—991.
- [17] LI Chun-lei, GAO Guang-shuai, LIU Zhou-feng, et al. Fabric Defect Detection Based on Biological Vision Modeling[J]. IEEE Access, 2018, 6(99): 1.