

遗传算法在易拉罐罐盖喷码系统中的应用

吴立华¹, 丁度坤¹, 白洁¹, 康国坡¹, 乐有树¹, 刘强², 李克天²

(1. 广东开放大学, 广州 510091; 2. 广东工业大学, 广州, 510006)

摘要: **目的** 为实现饮料易拉罐拉环背部激光打码的自动化, 提出一种基于遗传算法的易拉罐罐盖图像识别新方法。**方法** 首先搭建一套易拉罐盖激光自动打码机, 基于所搭建的实验系统, 利用 CCD 相机实时采集罐盖图像。对所采集到的图像进行中值滤波和灰度增强处理, 在此基础上, 研究基于遗传算法的罐盖图像阈值分割新方法, 分析、确定算法的关键参数(个体数目、交叉率、变异率等), 由此得到罐盖的二值化图像, 并对算法处理结果进行误差分析。**结果** 遗传算法经过约 15 代的迭代计算, 能够收敛, 获取到最优的图像阈值, 整个算法的运行时间约 30 ms, 最终的图像精度约为 7.9 pixel。**结论** 基于遗传算法的图像阈值分割实时性好, 分割后的图像精度高, 与传统的 Ostu 阈值分割法相比, 得到的信息更加丰厚, 能抑制光线不均所造成的图像干扰。同时对遗传算法阈值分割后的图像进行了 sobel 边缘检测, 得到了清晰的罐盖边缘, 为激光打码的准确定位奠定了基础。

关键词: 易拉罐; 激光打码机; 遗传算法; 图像识别; 智能包装

中图分类号: TB486 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)11-0024-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.11.005

Application of Genetic Algorithm in the Code Printing System for Aluminium Can Cover

WU Li-hua¹, DING Du-kun¹, BAI Jie¹, KANG Guo-po¹, YUE You-shu¹, LIU Qiang², LI Ke-tian²

(1. The Open University of Guangdong, Guangzhou 510091, China;

2. Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a new method for the recognition of aluminium can cover image based on the genetic algorithm, so as to realize the automation of laser code printing at the back of aluminium can cover pull ring. A set of automatic laser code printing machine for aluminium can cover was firstly set up. Based on the setup experiment system, images of aluminium can cover were captured by CCD in real time. Then, the median filter and gray enhancement operations for the captured images were performed. On this basis, a new threshold segmentation method for the images of can cover based on the genetic algorithm was researched. Key parameters, such as the total number of individuals, the crossover rate and the variation rate were analyzed and determined. Therefore, the binary image of um can cover was obtained, and the errors of the algorithm processing result were analyzed at the same time. After 15 times' iterative computations, the genetic algorithm could be convergent and the optimal image threshold was obtained. The running time of the whole algorithm was about 30 ms, and the final image accuracy was about 7.9 pixel. The image threshold segmentation based on genetic algorithm has good real-time performance and the segmented image has high accuracy. Compared with the traditional Ostu threshold segmentation method, the image threshold segmentation method can obtain more information and restrain the image interference produced by the asymmetry of brightness. In the meantime, the sobel edge detection is performed on the images subject to threshold segmentation based on the genetic algorithm. Therefore, the clearer edge image of can cover can be acquired to lay a foundation for the accurate location of

收稿日期: 2017-12-13

基金项目: 广东省自然科学基金(2016A030310101)

作者简介: 吴立华(1981—), 男, 博士后, 广东开放大学智能机器人学院代理院长, 主要研究方向为视觉检测、人工智能。

通信作者: 丁度坤(1981—), 男, 博士, 广东开放大学副教授, 主要研究方向为视觉检测、机器人技术与智能控制。

the laser code printing.

KEY WORDS: aluminium can; laser code printing machine; genetic algorithm; image recognition; intelligent packaging

近年来，随着我国经济的发展，人民的生活水平不断提升，我国食品饮料行业呈现出快速增长的势头，对易拉罐容器的需求量也不断增加，易拉罐的消耗量逐年增加，达到约 60~70 亿只的规模。以其中的啤酒业为例，据统计目前我国啤酒年产量达到 2386.83 万 t，居世界第 1 位，其中 5%使用的是易拉罐包装，消耗易拉罐 15 亿~20 亿只。易拉罐一般材质为铝，铝质易拉罐具有质量轻、密闭性好、不易破碎等优点，被广泛应用于啤酒、碳酸类饮料、果汁等食品的包装容器。由此可见，实现易拉罐整个生产过程的自动化具有巨大的社会及经济效益^[1-6]。

易拉罐的制作包括罐身、罐盖两大生产工艺。罐身的生产包括卷料输送、板材润滑、拉深、成形、修口、罐身清洗、罐身烘干、罐身外表面底涂、外表面彩印与烘干、内表面喷涂与烘干、罐口润滑与翻边、检测、堆垛等过程。罐盖的生产包括压盖、卷边、涂胶、喷码等过程。易拉罐生产制作自动化的过程，就是其各工艺生产、检测自动化并组线的过程^[7-11]。

喷码就是利用激光器在易拉罐喷上数码或者图案，以标明商品的一些相关信息，位置一般在罐底、罐盖或者罐盖拉环背部。罐底、罐盖正面一般喷上生产日期信息，拉环背面过去一般标注单一的中奖信息^[12-14]。随着信息技术的发展，二维码技术在食品领域得到了广泛的应用，越来越多的生产厂商在拉环的背面喷上二维码，可以通过手机扫描二维码，即可获取中奖信息、生产厂商信息、出厂日期、商品的名称和成分等重要信息，实现食品的溯源。

二维码具有标注的信息量大且丰富的优点，但同时也对激光打码技术提出了更高的要求。目前在工厂实际应用中，为了保证二维码位置不打偏，采用人工定位、打码的方式，生产效率较低。近年来，以神经网络、遗传算法、专家系统等为代表的人工智能算法飞速发展。与此同时，计算机软硬件技术也发展迅猛，由此使得智能计算在工业中的应用成为可能。将最新的人工智能算法、自动控制与传感检测手段引入包装领域，研发智能化的包装设备，实现包装过程的全自动化，能够极大地提高包装过程的效率，将人类从单调、繁琐的工作中解放出来，将成为未来包装行业发展的必然趋势。

基于此背景，文中拟研发一种机器视觉引导的罐盖自动喷码设备，利用视觉传感器实时采集罐盖的拉环图像。在此基础上，引入遗传算法进行图像的实时分割，提高图像分割的速度与精度，从而实现对罐盖拉环的位置的识别与定位，以提高喷码工艺的生产效率。

1 激光自动打码机系统

自动激光打码系统主要包括工控机、运动控制器、伺服驱动器、电机、机械本体、LED 光源、CCD 相机等部分，其实物见图 1，工作原理见图 2。

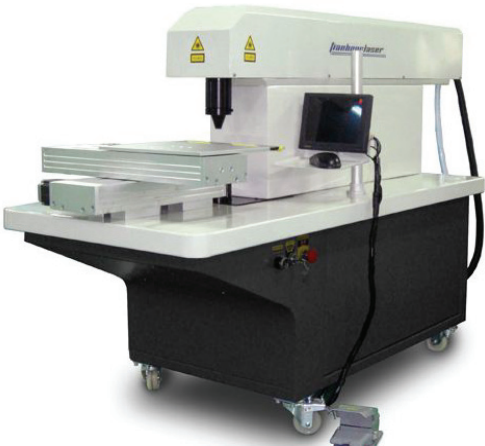


图 1 自动打码机
Fig.1 The automatic code printing machine

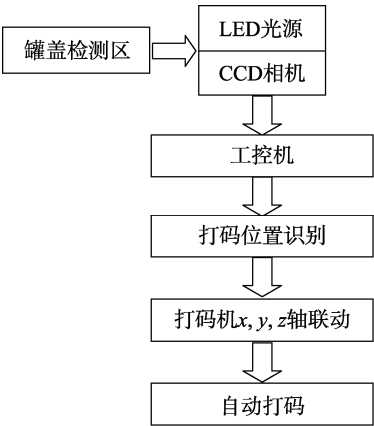


图 2 系统工作原理
Fig.2 Working principle of the system

罐盖由传送带送至罐盖检测区，工控机控制 LED 光源及 CCD 相机实现罐盖图片的自动抓拍，并将所抓拍到的图像回传至工控件。工控件调用图像处理软件自动识别打码位置，并将位置信息发送至伺服系统，驱动机械本体带动激光枪至指定位置，从而实现罐盖的自动打码。

2 罐盖图像预处理

所抓拍罐盖图像的质量将直接影响后续对代码位置的识别，为提高所抓拍图像的质量，系统加入了

LED 光源,以提高抓拍图像的亮度,抓拍到的罐盖图像见图 3。



图 3 罐盖图像
Fig.3 Can cover image

为进一步滤除光源亮度不均及各种不确定因素对采集到的图像所造成的干扰,对所采集到的图像进行 3×3 模板的中值滤波,并进行了灰度增强处理,最终处理结果见图 4—5。



图 4 中值滤波后图像
Fig.4 Image after median filter



图 5 灰度增强后图像
Fig.5 Image after gray enhancement

3 基于遗传算法的罐盖图像处理

遗传算法由密西根大学的 Holland 教授创立, Holland 教授将自然界生物的自适应进化机制引入自然科学、工程等领域,用一组二进制串来代表问题的一组“解法”,并且用来为每组“解法”的正确性定义了度量-适应度。人工遗传算法模拟了自然界的选择、复制与变异等操作,使得二进制串实现了“进化”,最终得到问题最优的“解法”。

随着计算机软硬件技术的飞速发展,遗传算法在信号处理、自动控制、优化计算等领域得到了广泛应用。文中将遗传与传统的图像分割算法相结合,用于计算获取最优的罐盖图像阈值。

3.1 罐盖图像灰度的编码与解码

生物的遗传信息保持在生物的染色体上,将罐盖图像的灰度等级定义为一条染色体,同时用一串二进制的数字代表染色体。假设一条染色体包含 8 个基因位,基因位初始值由计算机随机产生,取值为 0 或 1。

染色体二进制数码串解码的方法如下^[15-16]:

$$y = a_8 \times 2^7 + a_7 \times 2^6 + \dots + a_1 \times 2^0 \quad (1)$$

式中: y 为罐盖图像的灰度级; a_i 为染色体第 i 个基因位的数值, a_i 取值为 0 或 1。

3.2 罐盖图像灰度等级染色体适应度函数定义

根据聚类分割的思想,将差异性最小的灰度级染色体定义为同类,由此可将最大类间方差函数定义为适应度函数。假设罐盖图像的阈值为 m , T_0 为灰度级 $[0, 1, \dots, m-1]$ 的像素类, T_1 为另外 $[m, m+1, \dots, p-1]$ 的像素类,则罐盖图像类间方差定义如下:

$$\sigma_B^2 = \omega_0 (\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1 (\mu_1 - \mu_T)^2 \quad (2)$$

式中参数的表达式为:

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_0 = \sum_{q=0}^{m-1} p_r(r_q) \\ \omega_1 = \sum_{q=m}^{p-1} p_r(r_q) \\ \mu_0 = \sum_{q=0}^{m-1} qp_r(r_q) / \omega_0 \\ \mu_1 = \sum_{q=m}^{p-1} qp_r(r_q) / \omega_1 \\ \mu_T = \sum_{q=0}^{p-1} qp_r(r_q) \\ p_r(r_q) = \frac{n_q}{n} \quad q = 0, 1, 2, \dots, p-1 \end{array} \right. \quad (3)$$

3.3 罐盖图像的遗传操作

3.3.1 选择与复制

选择操作是一种“贪婪”的选择模式,将 2 条灰度

染色体个体的适应度值进行比较,选择适应度高的个体进行复制,由此适应度高的个体将继续保留在下一代的种群中,并在下一代的迭代计算中继续作为目标向量进行变异和交叉操作。复制的原则如下:

$$g_i = \text{round} \left(N \times \frac{f(d_i)}{\sum_{j=1}^N f(d_j)} \right) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

式中: g_i 为第 i 条罐盖图像的灰度染色体复制的数目; N 为罐盖图像总群中的灰度染色体总数; $f(d_i)$ 为第 i 条罐盖图像的灰度染色体的适应度函数。

选择操作在新产生的染色体个体 u_i 和原先的染色体个体 d_i 之间选择适应度高的个体保留至下一代的总群,其操作可记作: $T_s: S^2 \rightarrow S$, 新产生的个体被种群接受的概率分布为:

$$P(T_s(u_i, d_i) = u_i) = \begin{cases} 1 & f(u_i) \geq f(d_i) \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (5)$$

选择操作确保了最优的染色体个体能够被种群保留,使得进化方向不会后退。

3.3.2 遗传交叉

交叉通过交换 2 条图像灰度染色体个体间的基因来实现基因的重组,并由此产生新个体,以提高种群个体的多样性,见图 6。

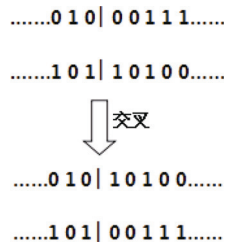


图 6 遗传交叉

Fig.6 Genetic crossover

交叉操作体现了自然界生物交换信息的思想。交叉操作由原先的染色体个体 d_i 按照图 7 交换染色体信息,从而产生新的个体 v_i 。交叉操作也是一种随机映射,可表示为: $T_c: S^2 \rightarrow S$, 其概率分布为:

$$P(T_c(d_i, v_i) = \mu_i) = \begin{cases} 0 & \mu_i = d_i \\ k^N + \frac{1}{N} & \mu_i = v_i \end{cases} \quad (6)$$

式中: k 为范围在 $[0,1]$ 间的常数,称为交叉常数, k 的取值越大,发生交叉的可能就越大; N 代表种群数目。

3.3.3 遗传变异

为避免遗传算法在寻优过程中陷入局部最优值,需进一步扩大寻优范围,保持种群的多样性,算法加入了遗传变异算子。自然界的生物当生存的外界环境

发生变动时,染色体基因位会发生突变,遗传变异算子模拟了生物染色体的这种突变机制。变异算子能够产生新个体,从而有利于保持种群个体的多样性,扩大寻优范围。

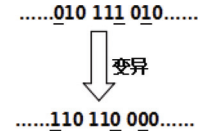


图 7 遗传变异

Fig.7 Genetic variation

该操作从染色体个体中随机挑选 3 个基因位,改变其基因值 (0 变为 1, 或者 1 变为 0), 从而产生新的染色体个体 v_i , 见图 8。变异操作也是一种随机的映射, 即: $T_m: S^N \rightarrow S$, 其概率分布表示如下:

$$P(T_m(d) = v_i) = \sum_{d_{r1}, d_{r2}, d_{r3}} P(T_m^1(d) = \{d_{r1}, d_{r2}, d_{r3}\}) \quad (7)$$

综合以上分析,遗传算法可记为:

$$d(n+1) = \{d_i(n+1) = T_s \circ T_c \circ T_m(d(n)) \mid i = 1 \dots N\} \quad (8)$$

基于文献[11],可以得到如下结论。

1) 遗传算法中的种群进化方向是单调。

2) 遗传算法的种群序列 $\{d(n), n \in N\}$ 是齐次 Markov 链。

3) 遗传算法中的 Markov 链种群序列 $\{d(n) \mid n \in N\}$ 以概率 1 收敛于解空间内的最优种群集 M^* 的子集 M_0 :

$$M_0^* = \{y = (y_1, \dots, y_N), y_i \in M^*\} \quad (9)$$

即:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(d(n) \in M_0^* \mid d(0) = d_0) = 1 \quad (10)$$

由此可以看出,基于遗传算法的图像分割算法是收敛的。

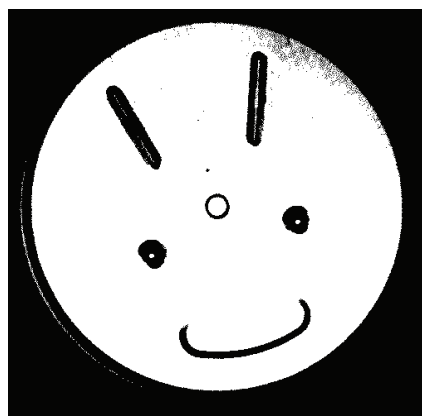
4 实验与结果分析

基于图 1—2 的实验系统,对采集的罐盖图像进行分析,采集频率为 40 ms,采集到的罐盖见图 3。

根据上述的遗传算法对罐盖图片进行处理,染色体总群个数设定不宜过少,总群个数过少时,算法将无法获取到最优的分割阈值。当总群个数过多时,则又将会加大控制器的计算强度,延长计算的时间,不利于系统实时性的提升。文中将罐盖灰度染色体种群个数定为 256 个,以代表图像的 256 个灰度等级,进化代数设为 40 代,在变异率设为 0.001 的情况下,各不同遗传交叉率取值所得的阈值分割图像见图 8。

由图 8 可以看出,当变异率大于 0.5 时得到的图像分割效果较佳,文中将遗传交叉率设为 0.8。

与此同时,在给定的交叉变异率下(文中为 0.8),不同的变异率得到的阈值分割效果见图 9。



a 交叉率小于 0.1



b 交叉率在 0.1~0.5 时

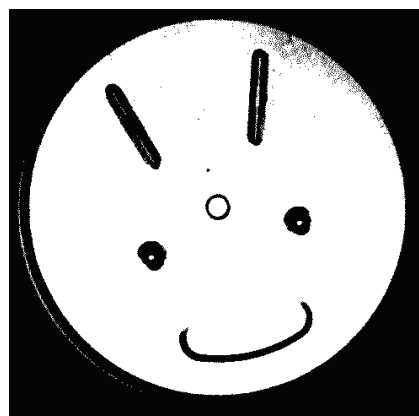


c 交叉率大于 0.5

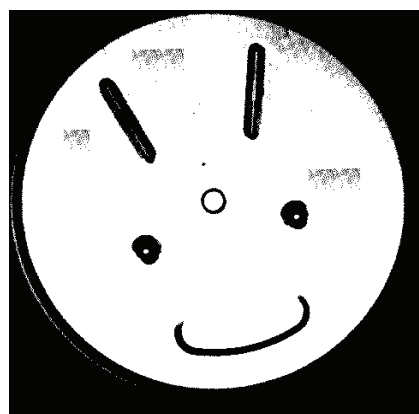
图 8 不同交叉率所得的阈值分割
Fig.8 The threshold segmentation under different crossover rates

由图 9 可以看出,较小的变异率图像分割效果更佳。在自然界中,生物发生遗传变异一般是受外界环境影响而造成的基因变异,该机率一般是较低的。不失一般性,文中将遗传变异率设定为 0.001,由此经过迭代运算可以自动获取最优的图片分割阈值。在 2.6 GHz 的 Intel(R) Pentium(R)处理器,内存为 4G 的计算机硬件条件下,经过大约 15 代左右的迭代运算,算法收敛,见图 10,整个算法的运算时间约为 30 ms。

分割前的原始图像经遗传算法、Ostu 阈值分割后的图像分别见图 11—13。



a 变异率大于 0.1



b 变异率在 0.01~0.1 时



c 变异率在小于 0.01 时

图 9 不同变异率所得的阈值分割
Fig.9 Threshold segmentation under different variation rates

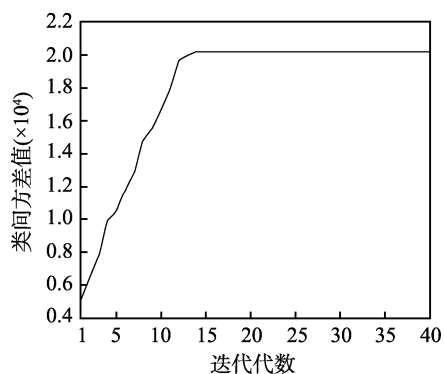


图 10 优化迭代过程
Fig.10 Optimized iteration procession

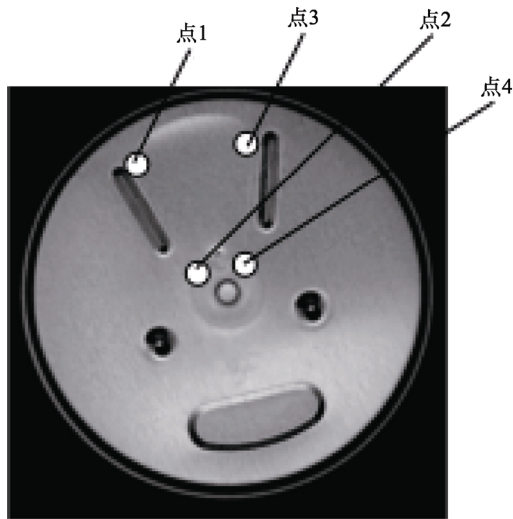


图 11 阈值分割前原始图像
Fig.11 Original image before threshold segmentation

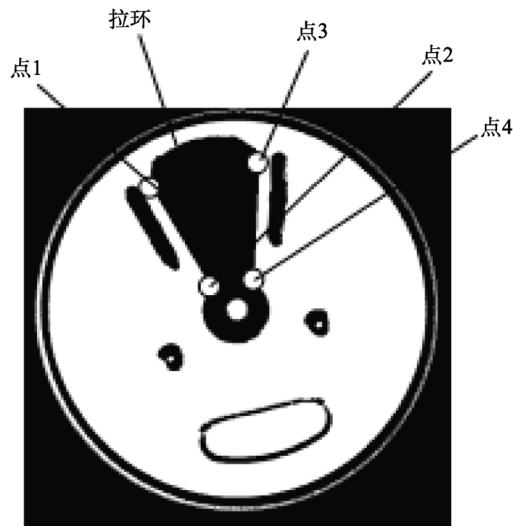


图 12 基于遗传算法的分割图像
Fig.12 Segmentation image based on the genetic algorithm

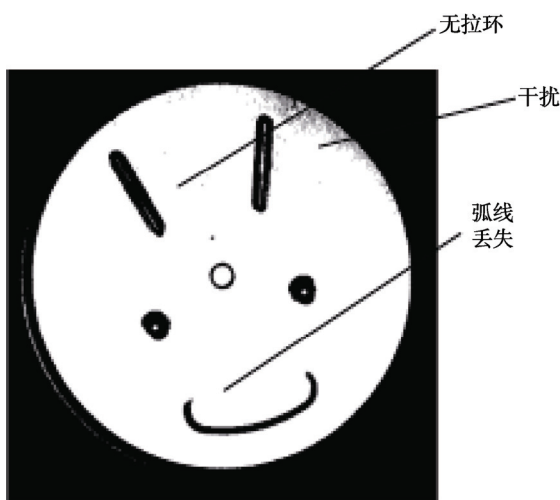


图 13 基于 Ostu 算法的分割图像
Fig.13 Segmentation image based on the Ostu algorithm

由图 12—13 的实验结果不难看出，与传统的 Ostu 阈值分割法相比，基于遗传算法所得到的阈值分割后的图像，获取到的信息更丰富，能够较好地检测到拉环。采用传统 Ostu 法，拉环信息丢失。同时，图 13 中罐盖的外围出现了若干黑点干扰，由此不难看出基于遗传算法的图像分割比基于 Ostu 的算法具有更高的优异性。

拉环位置是激光自动打码系统的重要引导信息，该信息的丢失，将造成打码位置不准确。为准确确定打码位置，在罐盖图片中选择 4 个点作为激光自动打码系统的位置引导特征点，见图 11。基于相机的图像坐标系（坐标系见图 3），4 个特征点在阈值分割前的图像中的坐标分别为（150，90），（220，215），（281，72），（272，202）。经遗传算法图像阈值分割后对应的图像特征点（见图 12）坐标分别为（153，92），（218，207），（278，73），（274，206）。各点的误差计算如下：

$$e_x = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x'_i|}{n} \quad i = 1, 2, 3 \cdots n \quad (11)$$

$$e_y = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - y'_i|}{n} \quad i = 1, 2, 3 \cdots n \quad (12)$$

$$e = \sqrt{e_x^2 + e_y^2} \quad (13)$$

式中： e_x ， e_y ， e 分别为特征点在 x ， y 方向上的平均误差以及总的平均误差， n 为选取的特征点个数，文中 $n=4$ 。经计算，最终特征点在 x ， y 方向上的平均误差分别为 2.5 pixel 与 5 pixel，总的平均误差约为 7.9 pixel。由此可见，总体平均误差可以满足自动打码的需要。

为进一步定位打码位置，对基于遗传算法阈值分割后的图像进行了 sobel 边缘提取，结果见图 14。由此可提取罐盖边缘，获取激光打码的位置信息，为激光打码系统的位置坐标识别奠定基础。

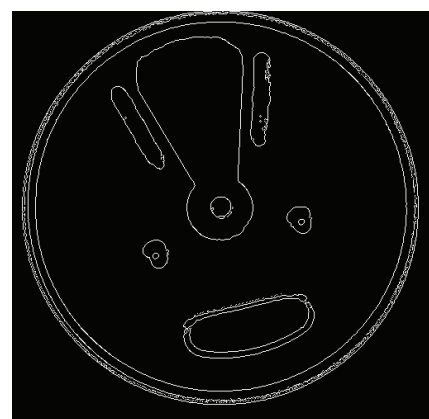


图 14 罐盖图像边缘提取
Fig.14 Edge extraction of can cover image

5 结语

提出了一种基于遗传算法的罐盖识别新方法,搭建了易拉罐盖激光自动打码机,基于所搭建的实验设备,采集若干罐盖图像。在此基础上,研究了基于遗传算法的罐盖识别新方法,利用遗传算法获取到最优的罐盖图像阈值,得到了罐盖二值化图像。与传统的 ostu 分割法相比,基于遗传算法的罐盖图像阈值分割所得的二值化图像,所得到的信息更加丰富,且能有效去除亮度不均带来的图像干扰。还对阈值分割后的图像进行了边缘检测,为激光打码的位置坐标识别奠定了基础。

参考文献:

- [1] 张亚伦,何卫锋,罗慧琴,等. 拉伸机冲杆行星齿轮式驱动机构的设计与分析[J]. 包装工程, 2016, 37(13): 117—120.
ZHANG Ya-lun, HE Wei-feng, LUO Hui-qin, et al. Design and Analysis of the Bodymaker Punch Planetary Gear Driving Mechanism[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(13): 117—120.
- [2] 唐慧. 基于机器视觉技术的易拉罐罐底喷码检测系统设计[J]. 自动化博览, 2012, 24(7): 48—50.
TANG Hui. Can Bottom Coding Detection System based on the Machine Vision Technique[J]. Automation Panorama, 2012, 24(7): 48—50.
- [3] 陈德潮. 易拉罐冲压视觉检测方法设计[J]. 中山大学研究生学刊, 2013, 34(2): 87—99.
CHEN De-chao. Design of Visual Inspection Method of Cans-Stamping[J]. Journal of the Graduates Sun Yat-sen University(Natural Sciences, Medicine), 2013, 34(2): 87—99.
- [4] 江鸿,向群. 易拉罐市场发展的新趋势[J]. 中国包装工业, 2005, 24(3): 23—24.
JIANG Hong, XIANG Qun. Developing Trends in the Easy Can Market[J]. China Packaging Industry, 2005, 24(3): 23—24.
- [5] 段瑞斌. 易拉罐用 3104 铝合金再生关键技术研究[D]. 太原: 中北大学, 2016: 1—20.
DUAN Rui-bin. Key Technologies Research on the Regenerated 3104 Aluminum Alloy for Cans[D]. Taiyuan: North University of China, 2016: 1—20.
- [6] 王俊. 铝质易拉罐模具的设计与优化[D]. 广州: 广东工业大学, 2016: 1—24.
WANG Jun. Die Design and Optimization of Aluminum Cans[D]. Guanzhou: Guangdong University of Technology, 2016: 1—24.
- [7] 郝婷. 易拉罐成形过程数值模拟[D]. 济南: 山东大学, 2008: 1—25.
HAO Ting. Forming Process Numerical Simulation of Beverage Can[D]. Jinan: Shandong University, 2008: 1—25.
- [8] 叶凯. 易铝质易拉罐轻量化的罐型分析与模具改进[J]. 模具工业, 2012, 38(1): 29—35.
YE Kai. Analysis of Lightweight Aluminum Tinplate Can Type and Improvement of Die[J]. Die and Mould Industry, 2012, 38(1): 29—35.
- [9] 李魏梓,宋昕,宜杨凯,等. 易拉罐轴向受压失稳试验研究及有限元分析[J]. 制造业自动化, 2014, 35(15): 83—85.
LI Wei-zi, SONG Xin, YI Yang-kai, et al. The Research and Finite-element Analysis of Axial Collapse of Pop Can[J]. Manufacturing Automation, 2014, 35(15): 83—85.
- [10] 蒋青锋. 基于涡流原理的易拉罐罐身焊缝缺陷在线检测研究[D]. 杭州: 中国计量学院, 2015: 1—12.
JIANG Qing-feng. The Research of Online Detecting on Can Body Weld Defects Based on Eddy Current Principle[D]. Hangzhou: China Jiliang University, 2015: 1—12.
- [11] 黄川,李东波,刘延友,等. 基于 FLUENT 的易拉罐灌装阀阀道流场分析与结构优化[J]. 机械设计与制造工程, 2014, 43(8): 27—31.
HUANG Chuan, LI Dong-bo, LIU Yan-you, et al. The Flow Distribution Analysis and Structure Optimization of Cans Filling Road Based on Fluent[J]. Machine Design and Manufacturing Engineering, 2014, 43(8): 27—31.
- [12] 郭庆. 目前易拉盖的生产应用及其发展简况[J]. 机械工程材料, 2001, 25(12): 34—35.
GUO Qing. The Present Production and Application Development Situation of Ring-Pull Can[J]. Materials for Mechanical Engineering, 2001, 25(12): 34—35.
- [13] 南阳,白瑞林,吉峰. 易拉罐喷码字符在线视觉检测[J]. 光学技术, 2015, 41(6): 489—493.
NAN Yang, BAI Rui-lin, JI Feng. Online Visual Detection of Canning Printed Characters[J]. Optical Technique, 2015, 41(6): 489—493.
- [14] 刘国信. 用于个性化易拉罐设计的数码打印技术[J]. 印刷世界, 2010, 35(12): 20—21.
LIU Guo-xin. The Numerical Printing Technology for Personalized Ring-Pull Can Design[J]. Print World, 2010, 35(12): 20—21.
- [15] RAFAEL C G. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
RAFAEL C G. Digital Image Processing[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2005.
- [16] 段海滨,张祥银,徐春芳. 仿生智能计算[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
DUAN Hai-bin, ZHANG Xiang-yin, XU Chun-fang. Bionic Intelligence Calculation[M]. Beijing: Science Press, 2011.