

基于机器视觉的易拉罐打标区域定位方法

侯松青, 刘波, 付作政, 李玮
(中北大学 机械工程学院, 山西 太原 030051)

摘要: **目的** 为了提高易拉罐打标效率和打标位置精度, 降低劳动强度, 提出一种基于机器视觉的易拉罐打标区域定位方法。**方法** 首先建立模板库, 获取即将打标的不同图案的易拉罐表面图像, 对图像进行柱面反投影, 使有一定弧度的图像展开, 并利用模板匹配原理对图像进行拼接, 得到易拉罐表面完整图像; 其次采用 ORB 算法在模板库中确定易拉罐表面图案种类, 利用模板匹配方法确定该种类图案的打标区域在待打标易拉罐上的位置, 从而进行定位打标。**结果** 实验结果表明, 该方法能实现直径为 40~65 mm 易拉罐的打标区域快速定位, 定位误差为 $\pm 2^\circ$ 。**结论** 基于机器视觉的易拉罐打标区域定位方法能实现易拉罐打标过程的自动化, 可以快速、准确地定位出打标区域, 且灵活性较高, 降低了劳动成本, 能满足企业的生产加工需要。

关键词: 机器视觉; 区域定位; 易拉罐打标; 模板匹配

中图分类号: TP273+.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2020)19-0245-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.19.035

Marking Area Positioning Method for Cans Based on Machine Vision

HOU Song-qing, LIU Bo, FU Zuo-zheng, LI Wei

(School of Mechanical Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

ABSTRACT: The paper aims to propose a marking area positioning method based on machine vision to improve the efficiency and positioning accuracy of marking, and reduce the labor intensity. Firstly, a template database was established to obtain the surface image of the cans with different patterns to be marked, and then the image was back projected on the cylinder surface to expand the image with a certain radian, and the image was spliced by the template matching principle to get the complete image of the can surface; secondly, ORB was used to determine the types of the cans surface pattern in the template database, and the template matching method was used to determine the position of the marking area of the type pattern on the can to be marked. The experimental results showed that the method can locate the marking area of 40-65 mm can quickly, and the error range was $\pm 2^\circ$. Marking area positioning method for cans based on machine vision can realize the automation of the marking process, locate the marking area quickly and accurately. It has high flexibility, reduces the labor cost, and meets the production and processing needs of enterprises.

KEY WORDS: machine vision; area positioning; can marking; template matching

为提升企业知名度或达到广告推广的目的, 企业经常会采取在易拉罐上用打标机打印自己公司的信

息和广告, 并将其赠送给客户或宣传对象的方式。这种对易拉罐进行再包装的宣传方式新颖独特, 既可以

收稿日期: 2020-03-10

基金项目: 山西省研究生教育创新项目 (2019SY421)

作者简介: 侯松青 (1996—), 男, 中北大学硕士生, 主攻机器视觉。

通信作者: 刘波 (1974—), 男, 博士, 中北大学副教授, 主要研究方向为机电系统智能控制、机器视觉。

很好地达到广告目的,又能降低成本,受到企业的普遍欢迎。

采用这种宣传方式时,大多数企业采用购买现成易拉罐,在其上空白区域打印自己公司宣传信息的方式来实现。这种方式在将易拉罐放置到打标机的下方进行打印时,需要保持易拉罐位置的基本固定,即让易拉罐空白区域的几何中心与打标机的打标头几何中心基本重合。目前这一工作基本上依靠人工完成,即在放置易拉罐时,依靠人的肉眼来调整易拉罐的位置。这种方法工人眼睛容易疲劳,需要不时地休息,生产效率低,且打标区域的定位精度不高,因此,实现易拉罐打标的自动化,能有效提高打标精度和生产效率,有很强的商业应用价值。目前机器视觉技术应用广泛,具有检测精度高、工作时长等优点^[1-3]。文中研究基于机器视觉方法的易拉罐打标区域(空白区域)定位方法,以实现易拉罐空白区域的几何中心与打标机打标头的几何中心重合的目的。

1 系统设计

易拉罐打标系统主要包括空白区域的定位装置、打标装置。其中空白区域定位装置是系统的核心,见图1。工作时,将易拉罐放置到V型架上,光电开关

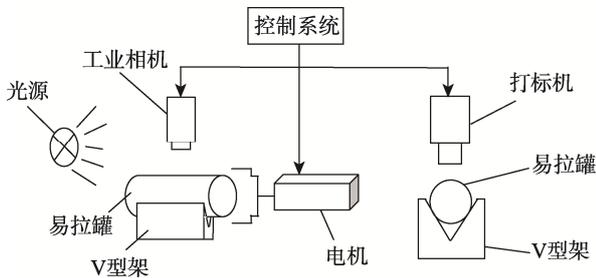


图1 打标系统设计
Fig.1 Design of marking system

被触发,控制相机拍照,获得当前易拉罐表面的图像,并计算出在圆周方向,使易拉罐空白区域几何中心与打标机打标头几何中心重合时,易拉罐所应旋转的角度 ϕ 。然后电动夹爪夹紧易拉罐,带动易拉罐旋转角度 ϕ 。旋转完成后,固定装置将易拉罐两端固定,使其在运动过程中不会发生位移或偏转,最后将整个V型架通过传送装置送到打标工位进行打标。

上述过程中,确定出使易拉罐空白区域几何中心与打标机打标头几何中心重合的旋转角度,即易拉罐打标区域的定位方法是关键。文中提出了一种基于机器视觉的易拉罐打标区域定位方法,实现了旋转角度的计算。定位方法的实现原理见图2,主要包括了生成模板库和计算旋转角度定位打标区2个部分。

生成模板库部分主要用于生成不同易拉罐产品的表面图像信息和空白打标区域信息,并以模板的形式存储在模板库中。打标时,首先生成待打标易拉罐表面图像,随后将其与模板库中的模板图像进行匹配,确定出该易拉罐的种类,计算从当前位置旋转至空白打标区域所需的角度的。

文中使用 basler 面阵相机 acA1600-20gm 配合点光源,获取易拉罐表面黑白图像,并基于 Visual Studio 2017 集成开发环境和开源图像处理函数库 OpenCV 3.1.0 完成易拉罐打标区域定位方法的算法实现。

2 模板库建立

市场中不同易拉罐其表面图案差别非常大,即使同种易拉罐其表面图案也不尽相同,例如,某可口可乐产品,其同一包装箱内共有6种不同图案的易拉罐,使得罐体上适合打标的空白区域位置随产品而不同,因此,需要首先建立不同易拉罐表面图案的模板库,打标时通过 ORB 算法可以快速确定当前的易拉

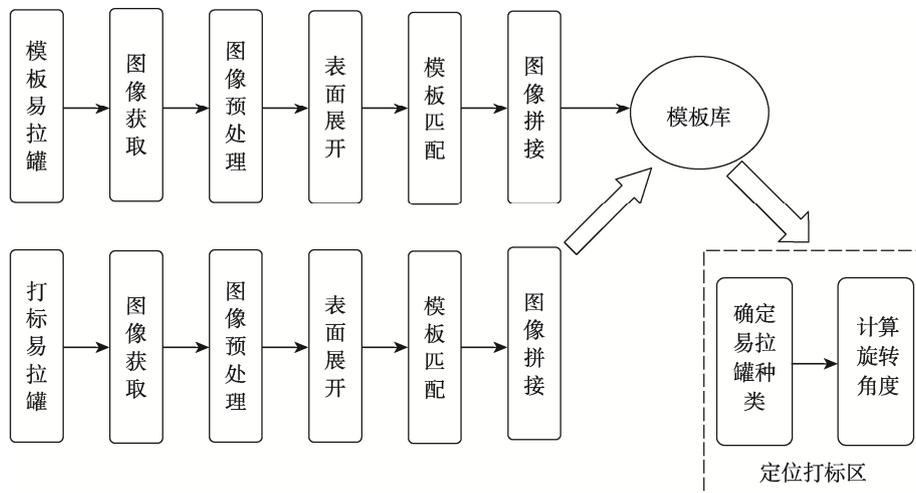


图2 打标区域定位方法
Fig.2 Positioning method of marking area

罐属于哪种产品。模板库的建立主要包括获取易拉罐表面图像、图像预处理、表面展开、模板匹配、图像拼接和生成模板库等 6 个步骤。

2.1 获取图像

由于每批次待打标易拉罐种类较少,且为了实现易拉罐上打标区域的可调性,易拉罐上打标区域由人工确定,该过程仅在对该批次易拉罐打标前进行,在整个设备运行和打标过程中,并不需要人工参与。该过程仅需要工人将易拉罐的打标区域朝上,将其放置于 V 型架上见图 1,使打标区域几何中心线与 V 型架中心线(相机视野的中心线)重合。放置完成后,点击操作界面上的“模板建立”按钮,自动完成该类型易拉罐模板库的建立,即在控制系统的控制下,采用工业相机进行拍照。

易拉罐在电动夹爪带动下每旋转 60°, 90°, 120° 获取的图像见图 3, 每旋转 90° 和 120° 获取的图像数量较少,之后的模板匹配过程会因为信息量过少造成匹配失败。当采用每旋转 60° 的方法获取易拉罐表面图像时,获取的图像在模板匹配过程中能够实现很好的匹配效果;当采用每旋转 45° 的方法获取易拉罐表面图像时,会得到 8 张图像,在模板匹配过程中也能够实现很好的匹配效果,但相较于每旋转 60° 的图像采集方法,每旋转 45° 获取的图像数量较多,且在模板匹配和图像拼接过程中消耗时间过多,会降低生产效率。为了保证图像拼接效果和生产效率,采用电动夹爪带动易拉罐每旋转 60°, 相机进行一次拍照动作的图像采集方法。

2.2 图像预处理

图像预处理的主要目的是减少图像中的干扰信息,恢复图像中的有用信息,增强有关信息的可检测

性,最大限度地简化数据,为后续的图像分割、匹配等操作奠定基础^[4-5]。文中主要进行了裁剪操作。

在获得的易拉罐表面图像中,除包含易拉罐的图像外,还有其他的物体如 V 型架的图像,因此,需要对获取的图像进行裁剪处理,得到感兴趣区域(ROI),即只包含易拉罐的图像。在后续的处理中只对裁剪后的图像进行处理,能有效减少图像处理时间,提高效率。

2.3 表面展开

柱面反投影^[6-8]是将柱面表面某个特定的观察区域投影到柱面切平面上的过程。如图 4a 所示,由于相机获取的图像中易拉罐表面为柱面,图像左右两侧信息变形较大,而模板匹配和图像拼接过程均需要利用获取图像的左右两侧信息来完成,为了更好地实现模板匹配和图像拼接,达到预期的效果,需要进行柱面反投影处理,将获取的图像转化为平面图像。

柱面反投影包括了横坐标转换(图 4b)和纵坐标转换(图 4c)。图 4b 中点 o 为坐标原点, $o'n'm'$ 为易拉罐表面, onm 为展开平面, $\angle oam = \alpha$, $\angle xan = \theta$, r 为易拉罐圆弧的半径, x' 为易拉罐表面上像素的横坐标, x 为展开平面上像素的横坐标。图 4c 为易拉罐表面图像像素的纵坐标 y' 到展开图像像素的纵坐标 y 的转化过程。图 4 中 $h=h'$, r 为易拉罐圆弧的半径,根据相似三角形原理,得出易拉罐表面图像像素到展开图像像素之间的转换关系为:

$$\begin{cases} x = f \cdot \tan \frac{x' - \frac{m'}{2}}{f} + f \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \\ y = (y' - \frac{h'}{2}) \cdot \sqrt{(\tan \frac{x' - \frac{m'}{2}}{f})^2 + 1} + \frac{h}{2} \end{cases} \quad (1)$$

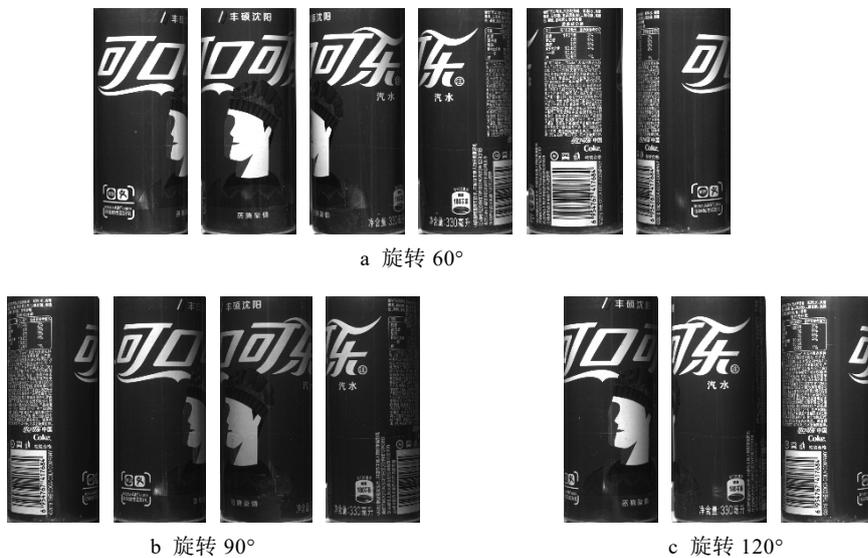


图 3 获取的易拉罐表面图像
Fig.3 Obtained surface image of can

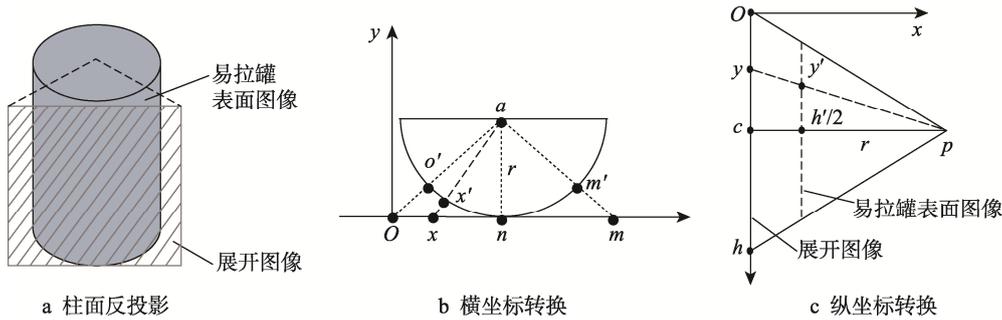


图4 柱面反投影

Fig.4 Schematic diagram of cylindrical back projection



图5 柱面反投影及填充效果

Fig.5 Effect drawing of cylinder back projection and filling

图5b为经过柱面反投影之后的效果，与原图5a相比，图像5b有了明显的展开效果，但在图像中出现了多条黑色的竖线，这种现象主要是由于图像由原来的柱面转换为平面，图像横向坐标增大，图像中原有的像素点填充不满展开后图像的像素点造成的。

针对图像中出现的黑色竖线，文中利用黑色像素点周围的像素值对图像中黑色的像素点进行填充^[9]，设图像中黑色像素点的坐标为 (i, j) ，该位置的像素值为 $p(i, j)$ ，则：

$$p(i, j) = [p(i-1, j-1) + p(i+1, j-1) + p(i-1, j+1) + p(i+1, j+1)] / 4 \quad (2)$$

如图5c所示为经过填充之后的效果，图像中黑色竖线基本消失，并且其填充部分符合原图像的效果。

由于相机对焦的原因，图5c中靠近图像两侧边缘部分相对于图像中间部分显得较为模糊，对此文中将图像两侧的像素进行裁剪，只保留中间较为清晰部

分，以便后续图像模板匹配和拼接，裁剪之后的效果见图5d。

2.4 图像拼接

图像拼接技术就是将数张有重叠部分的图像拼成一幅无缝的全景图或高分辨率图像的技术^[10-11]。文中图像拼接是将经过柱面反投影处理后得到的6张图像拼接成一个完整易拉罐展开表面图像的过程。文中采用模板匹配的方法确定出后一张图像在前一张图像中的起始位置，然后将前后2张图像进行像素点的拼接。采用此方法依次对6张易拉罐表面展开图像进行拼接，拼接出易拉罐表面完整图像。

模板匹配是一种用于在源图像中寻找定位给定目标图像的技术^[12]。模板匹配的工作过程是通过在输入图像上的左上角开始滑动模板图像，对比模板图像和输入图像中与模板图像大小相等区域的相似度，从而在输入图像中得出模板图像的位置^[13]。文中通过调用OpenCV中用于实现模板匹配的minMaxLoc函数，能够简单快速地确定模板图像在输入图像中的位置。

如图6所示，文中选取待拼接图像1的最右侧1/4部分作为模板图像，将待拼接图像2作为输入图像，通过模板匹配算法，可以快速确定出模板图像在待拼接图像2中的位置，即图6b中红色区域；将待拼接图像2中红色区域后的像素点依次拼接有待拼接图像1右侧，得到拼接效果图6c。采用此方法依次对6张待拼接图像进行拼接，得到易拉罐表面完整图像。



图6 图像拼接效果

Fig.6 Image splicing effect

拼接效果 2 拼接成的易拉罐表面完整图像, 见图 6d, 拼接该图像使用的 6 张图像中的第 1 张图像几何中心即为拼接效果图 2 的打标区域中心, 见图 6d 中的虚线部分。根据拼接完成的易拉罐表面图像和与之对应的打标区域图案, 建立模板库。

3 定位打标区域

易拉罐上打标区域的定位主要包括轴向定位和径向定位, 但目前待打标易拉罐轴向上不需要产生太大偏移, 即使不同种类的易拉罐, 也只需要对打标机和易拉罐的相对位置进行微调, 该过程只需要在打标开始前对打标机位置进行微调即可, 文中重点讨论在径向上确定易拉罐的打标区域。

当打标时, 易拉罐由机械装置随机放置到 V 型架上, 相机获取到易拉罐表面图像后, 与模板库中图像进行对比, 确定出图案种类, 得到该种类图案的打标位置图像, 再计算出使易拉罐打标区域几何中心与相机视野中心重合时易拉罐需要旋转的角度, 然后由控制系统控制电爪带动易拉罐旋转相应角度来实现。

定位打标区域过程主要包括获取原始图像、图像预处理、表面展开处理、模板匹配、图像拼接、产品类型确定、旋转角度计算共 7 个步骤, 其中前 5 个步骤均与建立模板库的步骤相一致, 该节主要介绍产品类型确定与旋转角度计算。

3.1 产品类型确定

由于每种易拉罐的打标区域不同, 因此, 当通过图像拼接获得待打标易拉罐表面完整图案信息后, 需要先确定易拉罐种类。确定易拉罐种类的过程即为确定待打标易拉罐图像与模板库中哪幅图像相似度最高的过程, 由于相机获取的易拉罐表面图像的起始位置具有随机性, 所以与模板库中图像进行相似度对比时, 会出现整体相似度较低的情况,

但数据中相似度最高的模板即被认定为待打标易拉罐的种类。ORB 算法具有计算速度快, 且有一定的旋转不变性的优点, 因此文中采用 ORB 算法实现产品类型确定。

ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) 算法采用 FAST (Features from Accelerated Segment Test) 算法来检测特征点, 并用 BRIEF (Binary Robust Independent Elementary Feature) 算法来计算特征点的描述子, 最后进行特征点的匹配^[14]。FAST 算法检测特征点时, 检测候选特征点周围一圈的像素值, 如果候选特征点周围有一定个数的像素点与候选点灰度值差别大于设定阈值时, 则认为该候选点为一个特征点^[15]; BRIEF 特征描述子的计算主要通过在特征点邻域内选取 n 对随机点对, 比较随机点对中 2 个像素点对应灰度值的大小, 生成长度为 n 的二进制字符串^[16], 即为 BRIEF 特征描述子的编码; 最后采用汉明距离进行特征点匹配, 计算出 2 个特征描述子中不同位值的数目, 当小于设定阈值时, 则认为 2 个特征点匹配。

文中通过 ORB 算法找出每 2 幅图像中匹配的 500 个特征点, 然后计算出匹配特征点中汉明距离在一定范围内的特征点的个数占总的特征点的比重, 即为 2 幅图像的相似度值。

由于易拉罐由机械装置放置于 V 型架上, 图案的起始位置具有随机性, 所以采集到的图像起始位置也具有随机性。如图 7 中所示, 图像 P_1, P_2, P_3, P_4 为采集的同一种易拉罐的表面图像, 模板 1—5 为建立的模板库中的图像, 通过 ORB 算法计算待打标易拉罐图像与模板库中图像的相似度, 见表 1。

从图 7 中可以看出, 图像 P_1, P_2, P_3, P_4 与模板 1 图像相似度最高, 且在表 1 计算的图像相似度中, 图像 P_1, P_2, P_3, P_4 与模板 1 图像相似度均高于与其他模板的相似度, 得到的图像相似度计算结果与实际情况一致, 因此 ORB 算法可以很好地确定出产品类型。

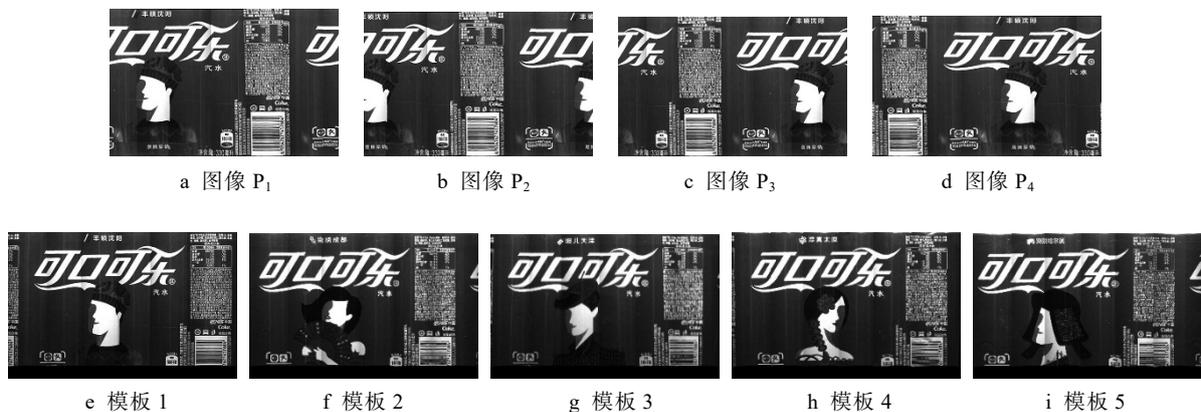


图 7 易拉罐表面图像与模板库中图像

Fig.7 Surface images of can and images in the template library

表1 ORB算法计算相似度
Tab.1 Calculation similarity of ORB algorithm

图像	模板 1	模板 2	模板 3	模板 4	模板 5
P ₁	0.15	0.068	0.058	0.146	0.12
P ₂	0.15	0.082	0.054	0.098	0.062
P ₃	0.142	0.09	0.048	0.076	0.062
P ₄	0.168	0.064	0.066	0.07	0.058

3.2 旋转角度计算

确定完待打标易拉罐在模板库中对应的图案种类后,可以确定出该种类图案对应的打标图案,见图8。以图8a作为模板图像,图8b作为输入图像,进行模板匹配,可确定出打标区域在待打标图案中的位置,即图8b中的方框区域。

图8c中方框区域为待打标区域在待打标图像中的位置,以待打标图案的左下角为坐标原点,待打标图像行像素方向为横坐标,列像素方向为纵坐标,可以根据待打标区域的位置确定出像素距离 d 。

依据相机标定时确定的像素点个数与物体实际长度之间的转换关系 T ,可以计算出像素距离 d 对应的实际长度 $L=d \times T$,长度 L 对应到易拉罐表面即代表弧长,根据易拉罐的半径 r 可求出旋转角度 β :

$$\beta = \frac{d \cdot T}{2\pi r} \times 360^\circ \quad (3)$$

β 即为待打标易拉罐当前位置旋转至打标区域所需的旋转角度。

4 定位效果分析

为检测定位和打标效果,文中对直径为52 mm和64 mm的2种易拉罐进行打标,并对处理过程中各部分的时间进行统计,见表2。

从表2中可以看出,定位打标区总消耗时间均控制在10 s之内,由于打标图案一般为多个大号字体,打标时间由字体的个数和字号大小等因素决定,在工厂实际打标测试中,打标时间一般为12 s左右,易拉罐定位时间小于打标时间,保证了在打标机打标过程完成之前,已有下一个定位好的易拉罐在输送带上等待打标,使打标机能够连续工作,有效保证了打标效率。

为满足企业对设备的精度要求,在易拉罐上进行打标,打标图案不与易拉罐上原有图案重叠,且打标图案位于易拉罐上空白区域的中心位置,即为打标合格。文中抽取已打标完成的10个易拉罐进行检测,打标图案均未与易拉罐表面原有图案发生重叠,且打



图8 定位打标区域效果
Fig.8 Effect image of positioning marking area

表2 易拉罐定位及打标时间分析
Tab.2 Positioning and marking time analysis of can

易拉罐尺寸/ mm	获取图像时间/ s	图像拼接时间/ s	计算旋转角度时间/ s	控制旋转时间/ s	定位打标区总时间/ s	打标时间/ s
52	4	1.95	0.35	0~2	6.3~8.3	12
64	4	2.58	0.5	0~2	7.08~9.08	12

标图案几何中心与空白区域几何中心的偏移量均小于 1 mm, 即在易拉罐径向上的定位误差小于 $\pm 2^\circ$, 能够满足企业对设备的精度要求。

5 结语

针对易拉罐打标过程中, 存在工人劳动强度大、打标位置精度不高等问题, 文中利用机器视觉非接触测量、可长时间稳定工作、识别精度较高等优点, 对打标系统进行了设计。文中的定位方法主要有建立模板库和定位打标区 2 部分。在建立模板库的过程中采用柱面反投影原理对易拉罐表面图像进行展开, 可以很好地还原易拉罐表面信息, 并且运用模板匹配的方法对展开的图像进行拼接, 简单高效, 具有很好的应用效果; 在定位打标区的过程中采用 ORB 算法确定图像种类, 具有较高的准确率。文中采用的方法能快速定位易拉罐表面的打标区, 且在实际应用过程中, 能够满足企业对设备精度和效率的要求, 具有一定的应用价值。

参考文献:

- [1] ZANINELLI M, REDAELLI V, LUZI F, et al. Development of a Machine Vision Method for the Monitoring of Laying Hens and Detection of Multiple Nest Occupations[J]. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 2018, 18(1): 1—19.
- [2] 张广云. 基于机器视觉的药物自动识别技术[J]. *包装工程*, 2019, 40(15): 206—213.
ZHANG Guang-yun. Automatic Drug Identification Technology Based on Machine Vision[J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(15): 206—213.
- [3] 许敏, 马钺, 陈帅, 等. 基于机器视觉的奶粉罐体商标区域定位方法[J]. *包装工程*, 2018, 39(21): 27—31.
XU Min, MA Yue, CHEN Shuai, et al. The Method of Milk Powder Can Trademark Location Based on Machine Vision[J]. *Packaging Engineering*, 2018, 39(21): 27—31.
- [4] MARIC D, DUSPARA M, SOLIC T, et al. Application of SVM Models for Classification of Welded Joints[J]. *Tehnicki Vjesnik-technical Gazette*, 2019, 26(2): 533—538.
- [5] AI-AZZAWI A, OUADOU A, TANNER J J, et al. Auto Cryo Picker: An Unsupervised Learning Approach for Fully Automated Single Particle Picking in Cryo-EM Images[J]. *Bmc Bioinformatics*, 2019, 20: 1—26.
- [6] 曹济英, 陆高勇, 李勃, 等. 一种灵活的柱面反投影算法[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2016, 48(11): 75—82.
CAO Ji-ying, LU Gao-yong, LI Bo, et al. A Flexible Cylindrical Back Projection Algorithm[J]. *Journal of Harbin University of Technology*, 2016, 48(11): 75—82.
- [7] 钱炜燕, 胡晓彤. 基于柱面反投影算法的三维物体表面纹理重建[J]. *天津科技大学学报*, 2009, 24(3): 58—62.
- [8] QIAN Wei-yan, HU Xiao-tong. 3D Object Surface Texture Reconstruction Based on Cylindrical Back Projection Algorithm[J]. *Journal of Tianjin University of Science and Technology*, 2009, 24(3): 58—62.
- [8] 郑亚波, 王涌, 郭海亮. 基于柱状全景图的电子对景图展示系统研究[J]. *舰船科学技术*, 2016, 38(17): 122—125.
ZHENG Ya-bo, WANG Yong, GUO Hai-liang. Study on The Display System of Electronic View Based on Column Panorama[J]. *Ship Science and Technology*, 2016, 38(17): 122—125.
- [9] LIU S Y, BAO H J, ZHANG Y H, et al. Research on Image Enhancement of Light Stripe Based on Template Matching[J]. *Eurasip Journal on Image And Video Processing*, 2018(124): 1—12.
- [10] 刘桂雄, 蔡柳依婷, 王博帝. 机器视觉检测图像拼接配准技术研究进展[J]. *激光杂志*, 2019, 40(11): 1—6.
LIU Gui-xiong, CAI Liu-yi-ting, WANG Bo-di. Research Progress of Image Mosaic and Registration Technology in Machine Vision Detection[J]. *Laser Journal*, 2019, 40(11): 1—6.
- [11] 刘一鸣, 车新生. 基于全景拼接技术的药瓶标签图像采集方法研究[J]. *电子世界*, 2019(4): 6—7.
LIU Yi-ming, CHE Xin-sheng. Research on Image Acquisition Method of Drug Bottle Label Based on Panoramic Splicing Technology[J]. *Electronic World*, 2019(4): 6—7.
- [12] CHEN L C, NGUYEN T H. A Novel Surface Descriptor for Automated 3-D Object Recognition and Localization[J]. *Sensors*, 2019, 19(4): 1—22.
- [13] DONATI L, IOTTI E, MORDONINI G, et al. Fashion Product Classification through Deep Learning and Computer Vision[J]. *Applied Sciences-basel*, 2019, 9(7): 1—22.
- [14] 杨溪远, 陈斌. 基于 ORB 检测的特征匹配优化算法[J]. *计算机应用*, 2019, 39(S2): 81—84.
YANG Xi-yuan, CHEN Bin. Optimization Algorithm of Feature Matching Based on ORB Detection[J]. *Computer Application*, 2019, 39(S2): 81—84.
- [15] 袁小平, 张毅, 张侠, 等. 基于改进 FAST 检测的 ORB 特征匹配算法[J]. *科学技术与工程*, 2019, 19(21): 233—238.
YUAN Xiao-ping, ZHANG Yi, ZHANG Xia, et al. ORB Feature Matching Algorithm Based on Improved FAST Detection[J]. *Science Technology and Engineering*, 2019, 19(21): 233—238.
- [16] 修春波, 马云菲, 潘肖楠. 基于距离融合的图像特征点匹配方法[J]. *计算机应用*, 2019, 39(11): 3158—3162.
XIU Chun-bo, MA Yun-fei, PAN Xiao-nan. Image Feature Point Matching Method Based on Distance Fusion[J]. *Computer Application*, 2019, 39(11): 3158—3162.