

基于机器视觉的奶粉罐体商标区域定位方法

许敏^{1,2}, 马钺^{1,2}, 陈帅^{1,2}, 徐首帅^{1,2}

(1.中国科学院沈阳自动化研究所, 沈阳 110016;

2.中国科学院机器人与智能制造创新研究院, 沈阳 110016)

摘要: **目的** 针对奶粉包装中高盖锁扣与罐体商标图案之间位置的不确定会影响美观和品牌关注度的问题, 提出一种罐体商标图案定位方法。 **方法** 首先由透视投影变换模型获取罐体边缘上一对边缘点的摄像机坐标系下的坐标, 并结合视线交叉原理, 确定罐体截面圆在摄像机坐标系下的方程。其次通过模板匹配算法提取罐体上显著图案中心坐标, 并获得该中心坐标与摄像机光心连线所成直线的方程。然后联立直线与截面圆的方程求交点, 该交点表示显著图案中心点在截面圆上的位置。由于显著图案与商标图案相对位置已知, 因此由显著图案中心坐标就可以间接求得商标图案中心坐标。 **结果** 该方法可完成罐体商标图案的快速测定, 且测量精度达到 $\pm 1^\circ$ 。 **结论** 该方法能够快速、准确地实现罐体商标区域的在线测量。

关键词: 商标图案定位; 模板匹配; 透视投影变换

中图分类号: TP391.14 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)21-0027-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.21.006

Location Method of the Trademark Area of Milk Powder Cans Based on Machine Vision

XU Min^{1,2}, MA Yue^{1,2}, CHEN Shuai^{1,2}, XU Shou-shuai^{1,2}

(1.Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;

2.Institute for Robotics and Intelligent Manufacturing, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a method to position the pictorial trademark of milk powder cans regarding the problem that the uncertainty between the high cover lock of the milk powder package and the pictorial trademark of the can will affect the product aesthetics and brand awareness. First of all, the coordinates of a pair of edge points on the can edge in camera coordinate system were obtained through the perspective projection transformation model, and the equation of sectional circle of the cans was determined in camera coordinate system combined with the principle of lines-of-sight intersection. After that, the central coordinate of a significant pattern on the can was extracted by a template matching algorithm. Hence, a line of sight between the central coordinate and the camera optical center was obtained. Then, the cross point was calculated based on the simultaneous equation of the straight line and sectional circle. The cross point indicated the position of center point of significant pattern on the sectional circle. As the relative position between the significant pattern and the pictorial trademark was known, the central coordinate of pictorial trademark could be indirectly obtained based on the central coordinate of the significant pattern. The proposed method was able to quickly measure the pictorial trademark of the cans with an accuracy up to $\pm 1^\circ$. The proposed method can measure the trademark area of the cans online quickly and accurately.

KEY WORDS: pictorial trademark positioning; template matching; perspective projection transformation

灌装奶粉按盖高低可分为“高盖”包装和“低盖”包装。“高盖”包装包括高盖锁扣、量勺卡槽、密封内

膜等附件, 因此“高盖”包装具有锁扣易开关、勺粉分离安全卫生、密封性好、盖罐不分离等优点, 越来越

收稿日期: 2018-03-09

基金项目: 广州市科技计划 (201604016033)

作者简介: 许敏(1982—), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为机器视觉和图像处理技术。

受到消费者的青睐。“高盖”包装中,高盖锁扣与罐体上商标图案之间的相对位置是随机的,会造成产品包装不美观,导致用户在使用过程中对品牌商标图案的关注度不够,因此,“高盖”包装奶粉生产企业提出了将商标图案与高盖锁扣进行在线快速对准的技术需求。传统的人工对准方法存在劳动强度大、测量精度差、测量效率低等缺点,无法满足高速包装生产线的要求^[1-4]。近年来,随着计算机技术以及图像处理技术的发展,机器视觉技术已经在工业生产领域得到了广泛应用^[5-8]。

在商标图案与高盖锁扣对准过程中,需要分别定位锁扣位置和商标图案位置。高盖锁扣定位可采用基于盖表面商标图案的模板匹配方法进行定位。罐体作为一个圆柱体,上面的商标图案相对于包装生产线上某一固定观测点,其出现的位置是不确定的,因此直接定位罐体商标图案比较困难。许超^[9]等首先建立商标区域的模板图像,然后由电机带动被测对象进行旋转,相机每隔 0.2 s 采集一次图像,然后进行商标区域模板匹配。该检测方法机械结构复杂、检测速度很慢,无法满足高速灌装生产线的速度要求。杨海明^[10]等采用 4 个工业相机成 90° 夹角的安装方式采集饮料瓶标签全表面图像,但该检测系统光路结构设计复杂,占用空间大,不适合旋转式灌装生产线。德国海富公司采用 2 个摄像机通过 8 个反光镜获取瓶身 4 个方向的图像,然后通过图像拼接实现瓶身标签的全表面重建。该检测系统光路设计复杂,并且全表面重建过程中的计算量很大^[11]。

针对旋转式奶粉灌装生产线上高盖锁扣与罐体商标图案的对准问题,提出一种基于罐体表面显著图案特征的定位方法。该方法既不需要多台工业相机多角度图像采集,也不需要复杂光路设计,仅用一台工业相机就能完成奶粉罐体上商标图案的定位。

1 测量系统的结构及测量原理

1.1 测量系统的结构

测量系统结构示意图见图 1,系统主要由工业相机、镜头、LED 光源、工控机等组成。在定位传感器检测到罐体时,LED 光源被点亮,同时 CCD 相机开始采集图像,并将采集到的图像传送到图像处理单元进行分析。同时,CCD 相机拍到的图像被实时显示在监视单元上。

1.2 测量原理

罐体截面圆及显著特征投影点见图 2,设圆 O 为罐体上某一截面圆,设 P 为商标区域中心在截面圆 O 上的投影点, m_1-m_4 为罐体上显著图案区域中心在截面圆上的投影点。当罐体表面完成图案喷印后,点 P 与各个显著图案中心在截面圆上的位置关系随之确定(可由人工测定)。

罐体图像见图 3,图 3 右上方框区域为商标区域,左下方框为显著图案区域。通过模板匹配^[12]算法定位罐体上显著图案的中心坐标。由于商标图案与显著图案的位置已经确定,因此通过定位显著图案就可以间接确定商标图案的位置。

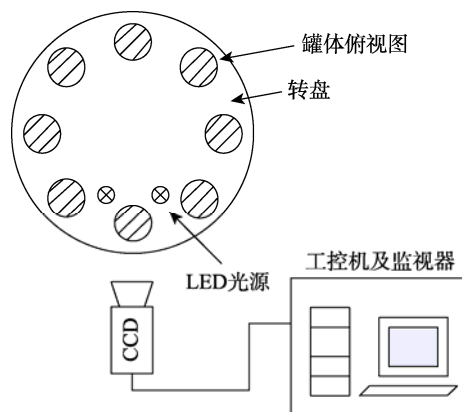


图 1 测量系统结构示意图

Fig.1 Schematic diagram of the measurement system structure

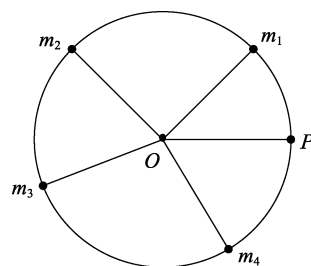


图 2 罐体截面圆及显著特征投影点

Fig.2 Sectional circle and significant feature projection points of a can

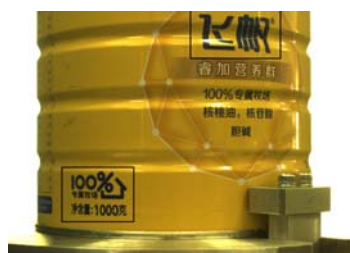


图 3 罐体图像

Fig.3 Image of a can

2 罐体商标图案定位

罐体旋转角度测量示意图见图 4,建立摄像机坐标系 $O_c-x_c y_c z_c$, O_c 为摄像机光心, $O_c z_c$ 为摄像机光轴, $O_c x_c$ 垂直于纸面向外。 $y_c O_c z_c$ 平面截罐体所成的截面圆圆心为 O , 由摄像机光心 O_c 发出的 2 条射线与截面圆 O 相切于点 A 和点 B , R 为罐体半径。点 Q 为罐体上显著图案区域的中心, 记为标记点。 P 为当前罐体上商标区域的中心位置, P' 为商标区域的理想位置(即罐体经过旋转后, 商标区域正对观测点)。记 $\angle POP'$ 为 θ , θ 即为罐体需要旋转的角度。

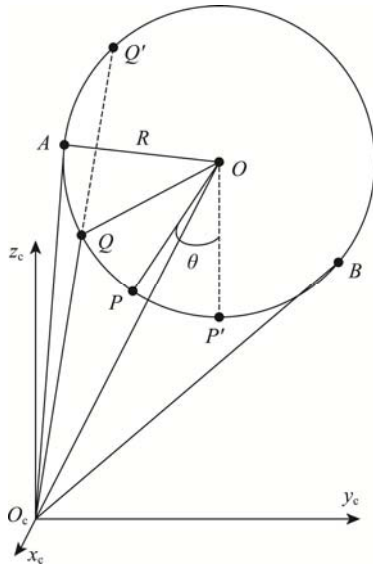


图 4 罐体旋转角度测量示意
Fig.4 Schematic diagram of rotation angle measurement of the can

2.1 确定截面圆的方程

由边缘检测算法^[13], 可以提取出罐体左右边缘点的图像坐标。由直线拟合算法可以拟合出左右边缘直线, 分别记为 $L1$ 与 $L2$, 见图 5 黑色竖线。由张正友标定算法^[14]可以获得摄像机的内参数矩阵 M 。点 A 和点 B 为由摄像机光心 O_c 发出的射线与罐体截面圆的切点, 由摄像机透视成像模型可得:

$$Z_a \begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X_a \\ Y_a \\ Z_a \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$Z_b \begin{bmatrix} x_b \\ y_b \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: (x_a, y_a) 为点 A 的图像物理坐标; (x_b, y_b) 为点 B 的图像物理坐标; (X_a, Y_a, Z_a) 和 (X_b, Y_b, Z_b) 分别为切点 A 和 B 在摄像机坐标系下的坐标。令 O_cA 和 O_cB 分别表示由摄像机光心 O_c 出发经过点 A 与点 B 的 2 条直线, 则直线 O_cA 与 O_cB 的方向向量 A, B 可表示为:

$$\begin{aligned} A &= \{X_a, Y_a, Z_a\} \\ B &= \{X_b, Y_b, Z_b\} \end{aligned} \quad (3)$$

将直线 O_cA 与 O_cB 的方向向量归一化, 则有:

$$\begin{aligned} \text{norm}(A) &= \{X_a, Y_a, Z_a\} / \sqrt{X_a^2 + Y_a^2 + Z_a^2} \\ \text{norm}(B) &= \{X_b, Y_b, Z_b\} / \sqrt{X_b^2 + Y_b^2 + Z_b^2} \end{aligned} \quad (4)$$

使用 2 直线的夹角公式可计算出直线 O_cA 与 O_cB 之间的夹角 α , 即:

$$\cos \alpha = \text{norm}(A) \cdot \text{norm}(B) \quad (5)$$

直线 O_cO 为 $\angle AO_cB$ 的平分线, 令 $\angle AO_cO = \alpha/2$ 。

在 $RT\triangle AO_cO$ 中,

$$|O_cO| = R / \sin(\alpha/2) \quad (6)$$

式中: $\|\cdot\|$ 为取模运算。直线 O_cO 的方向向量为 C , 则 C 可表示为:

$$C = [\text{norm}(A) + \text{norm}(B)] / 2 \quad (7)$$

由式 (6) 和式 (7) 可确定直线 O_cO 的方程, 进而可得到截面圆 O 在摄像机坐标系下的方程。

$$(X_c - X_o)^2 + (Y_c - Y_o)^2 + (Z_c - Z_o)^2 = R^2 \quad (8)$$

其中,

$$X_o = \frac{R(X_a + X_b)}{2 \sin(\alpha/2) \sqrt{X_a^2 + Y_a^2 + Z_a^2}}$$

$$Y_o = \frac{R(Y_a + Y_b)}{2 \sin(\alpha/2) \sqrt{X_a^2 + Y_a^2 + Z_a^2}}$$

$$Z_o = \frac{R(Z_a + Z_b)}{2 \sin(\alpha/2) \sqrt{X_a^2 + Y_a^2 + Z_a^2}}$$



图 5 切点位置
Fig.5 Points of tangency

2.2 显著图案及商标图案中心点定位

显著图案中心点可采用形状模板匹配算法^[15]进行定位。图 6 中“ $\times$ ”表示形状模板匹配获取的显著图案中心点, 文中称为标记点, 记为 Q 。由透视成像模型可得:

$$Z_Q \begin{bmatrix} x_Q \\ y_Q \\ 1 \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} X_Q \\ Y_Q \\ Z_Q \\ 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

式中: (x_Q, y_Q) 为标记点 Q 的图像物理坐标; (X_Q, Y_Q, Z_Q) 为标记点 Q 在摄像机坐标系下的坐标。直线 O_cQ 在摄像机坐标系下的方程可表示为:

$$\frac{X_c}{X_Q} = \frac{Y_c}{Y_Q} = \frac{Z_c}{Z_Q} \quad (10)$$

联立式 (8) 与式 (10), 可求得直线 O_cQ 与圆 O 的交点坐标, 记为 Q 与 Q' (见图 4)。 Q 与 Q' 中仅有一个表示真正的显著图案中心点, 可以采用以下判别式进行判断。若 $|O_cQ| < |O_cO|$, 则 Q 为标记点; 否则, Q' 为标记点。

为方便讨论, 建立以截面圆圆心 O 为极点, Ox 为极轴的极坐标系, 见图 7。在罐体截面圆 O 上, 标记点 Q 与商标中心 P 的相对位置固定, 即 $\angle QOP$ 已

知, 记为 β 。当求得标记点 Q 在圆 O 上的坐标时, P 在圆 O 上的位置也随之确定。 P' 为观测点位置, 位于 Ox 轴逆时针方向 90° 处。当求得标记点 Q 后, 标记点 Q 与观测点 P' 之间的旋转角 α 也随之确定。实际商标中心点 P 与商标中心点理想位置 P' 之间的转角 θ 为:

$$\theta = \beta - \alpha \quad (11)$$



图 6 标记点位置
Fig.6 Mark points

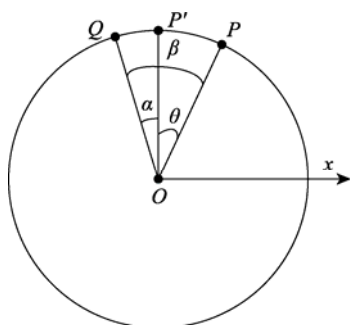


图 7 旋转角计算示意
Fig.7 Schematic diagram of rotation angle calculation

3 实验结果

实验平台由工业相机、LED 光源、精密旋转平台、工控机及监视器等组成, 见图 8。实验中首先手动旋转精密平台, 使得商标区域位于摄像机视场正中间, 记当前位置为观测点零点位置。启动旋转平台旋转某一角度 θ , 使罐体上商标区域偏离观测点, 同时保证显著图案出现在摄像机视场中。然后采用文中提出的方法计算当前商标位置与观测点位置之间的夹角 θ 。将精密平台的旋转角 θ' 与计算值 θ 进行对比, 即可确定测量系统的测量精度。

为了验证测量方法的鲁棒性以及测量系统的精度, 分别使用图 9 的 4 个显著图案进行商标图案定位实验研究。在单个显著图案模板匹配定位过程中, 首先将显著图案调整到视场的左侧边缘, 进行一次测量; 然后逐渐调整显著图案在视场中的位置, 直至显著图案位于视场右侧边缘, 共计测量 10 次。表 1—4 为使用图 9 的 4 个显著图案进行商标位置测量的结果。实验结果表明显著图案即使出现在视场的边缘也能被准确匹配, 因此该测量方法鲁棒性较强, 同时测量系统的测量误差分布在 $\pm 1^\circ$ 范围内, 满足设计要求。



图 8 实验平台
Fig.8 Experimental platform



图 9 罐体上显著图案
Fig.9 Significant patterns on the cans

表 1 使用图 9a 进行商标定位测量的结果
Tab.1 Measurement result of the trademark positioning by Fig.9a

测量次数	平台旋转角 $\theta'/(^\circ)$	测量值 $\theta/$ $(^\circ)$	误差 $(\theta' - \theta) /$ $(^\circ)$
1	110	109.47	0.53
2	100	100.38	-0.38
3	90	90.73	-0.73
4	80	80.54	-0.54
5	70	69.34	0.66
6	60	60.33	-0.33
7	50	50.26	-0.26
8	40	40.64	-0.64
9	30	30.73	-0.73
10	20	19.24	0.76

表 2 使用图 9b 进行商标定位测量的结果
Tab.2 Measurement result of the trademark positioning by Fig.9b

测量次数	平台旋转角 $\theta'/(^\circ)$	测量值 $\theta/$ $(^\circ)$	误差 $(\theta' - \theta) /$ $(^\circ)$
1	110	109.32	0.68
2	120	119.26	0.74
3	130	130.64	-0.64
4	140	139.43	0.57
5	150	150.42	-0.42
6	160	160.33	-0.33
7	170	169.57	0.43
8	180	180.49	-0.49
9	190	189.39	0.61
10	200	200.76	-0.76

表 3 使用图 9c 进行商标定位测量的结果
Tab.3 Measurement result of the trademark positioning by Fig.9c

测量次数	平台旋转角 $\theta'/(^{\circ})$	测量值 $\theta/(^{\circ})$	误差 $(\theta'-\theta)/(^{\circ})$
1	160	159.22	0.78
2	170	170.64	-0.64
3	180	180.58	-0.58
4	190	189.44	0.56
5	200	199.65	0.35
6	210	210.43	-0.43
7	220	220.56	-0.56
8	230	229.46	0.54
9	240	240.68	-0.68
10	250	249.18	-0.82

表 4 使用图 9d 进行商标定位测量的结果
Tab.4 Measurement result of the trademark positioning by Fig.9d

测量次数	平台旋转角 $\theta'/(^{\circ})$	测量值 $\theta/(^{\circ})$	误差 $(\theta'-\theta)/(^{\circ})$
1	270	270.69	-0.69
2	280	280.61	-0.61
3	290	290.55	-0.55
4	300	299.41	0.59
5	310	310.42	-0.42
6	320	319.48	0.52
7	330	329.37	0.63
8	340	340.58	-0.58
9	350	349.31	0.69
10	360	359.28	0.72

4 结语

文中提出了一种基于单摄像机的奶粉罐体表面商标区域定位方法,该方法通过模板匹配算法首先定位罐体上的显著图案,然后根据显著图案与商标区域的相对位置,间接计算出商标区域的位置。测量实验结果表明文中设计的测量系统测量精度较高,能够满足实际测量要求。

参考文献:

[1] 罗时光. 基于机器视觉的玻璃瓶口缺陷检测方法[J]. 包装工程, 2018, 39(3): 183—187.
LUO Shi-guang. Glass-bottle Defect Detection Method Based on Machine Vision[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(3): 183—187.

[2] SONG L M, WANG P Q, CHANG Y L, et al. A Non-contact Real-time Measurement of Lamp Dimension Based on Machine Vision[J]. Opto-electronics Letters, 2015, 11(2): 145—148.

[3] 王宏丽, 赵不赟, 孙智权, 等. 基于 HALCON 的医疗袋缺陷检测[J]. 包装工程, 2015, 36(13): 125—129.
WANG Hong-li, ZHAO Bu-hui, SUN Zhi-quan, et al. Defect Detection of Medical Bags Based on Halcon[J].

Packaging Engineering, 2015, 36(13): 125—129.

[4] 张晓琳, 毛建旭, 龚全华, 等. 软袋组合盖质量视觉检测系统研究[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(2): 236—240.
ZHANG Xiao-lin, MAO Jian-xu, GONG Quan-hua, et al. Research on Visual Detection System for Combination of Covers Quality of Soft Infusion[J]. Computer Engineering and Applications, 2015, 51(2): 236—240.

[5] SHI R Z, FAN K B, ZHOU X, et al. Study on the Model of Chromaticity Closed-loop Control for Print Online Detection[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013, 262: 291—296.

[6] 倪鹤鹏, 刘亚男, 张承瑞, 等. 基于机器视觉的 Delta 机器人分拣系统算法[J]. 机器人, 2016, 38(1): 49—55.
NI He-peng, LIU Yan-nan, ZHANG Cheng-rui, et al. Sorting System Algorithms Based on Machine Vision for Delta Robot[J]. Robot, 2016, 38(1): 49—55.

[7] XU M, MA Y, CHEN S. Research on Real-time Quality Inspection of PET Bottle Caps[C]// International Conference on Information and Automation, Macao, 2017: 1023—1026.

[8] 刘正琼, 万鹏, 凌琳, 等. 基于机器视觉的超视场工件识别抓取系统[J]. 机器人, 2018, 40(3): 294—300.
LIU Zheng-qiong, WAN Peng, LING Lin, et al. Recognition and Grabbing System for Work Pieces Exceeding the Visual Field Based on Machine Vision[J]. Robot, 2018, 40(3): 294—300.

[9] 许超, 徐惠钢, 谢启, 等. 基于机器视觉的啤酒瓶商标在线检测系统[J]. 仪表技术与传感器, 2015(12): 81—84.
XU Chao, XU Hui-gang, XIE Qi, et al. Beer Trademark Online Detection System Based on Machine Vision[J]. Instrument Technique and Sensor, 2015(12): 81—84.

[10] 杨海明, 苟岩岩. 饮料瓶标签 360°全方位检测系统研究[J]. 包装与食品机械, 2017, 35(3): 41—45.
YANG Hai-ming, GOU Yan-yan. Research on 360° Overall Detection System for Container Label[J]. Packaging and Food Machinery, 2017, 35(3): 41—45.

[11] 周博文. 保健酒智能视觉检测机器人技术研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2012.
ZHOU Bo-wen. Vision-based Intelligent Inspection Robot Technology for Health Wine[D]. Changsha: Hunan University, 2012.

[12] TALMI I, MECHREZ R, ZELNIK-MANOR L. Template Matching with Deformable Diversity Similarity[C]// 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Honolulu, HI, USA, 2017: 1311—1319.

[13] 乔闹生, 邹北骥, 邓磊, 等. 一种基于图像融合的含噪图像边缘检测方法[J]. 光电子激光, 2012, 23(11): 2215—2220.
QIAO Nao-sheng, ZOU Bei-ji, DEND Lei, et al. An Edge Detection Method Based on Image Fusion in a Noisy Image[J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2012, 23(11): 2215—2220.

[14] ZHANG Z Y. A Flexible New Technique for Camera Calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330—1334.

[15] 郑晶怡, 李恩, 梁自泽. 基于形状先验模型的平面型工件抓取位姿检测[J]. 机器人, 2017, 39(1): 99—110.
ZHENG Jing-yi, LI En, LIANG Zi-ze. Grasping Posture Determination of Planar Workpieces Based on Shape Prior Model[J]. Robot, 2017, 39(1): 99—110.