

基于 SURF 特征的印铁图像色差在线检测研究

徐明亮^{1,2}, 李成渊^{1,2}, 梅娟^{1,3}

(1. 无锡环境科学与工程研究中心, 无锡 214063; 2. 无锡城市学院, 无锡 214063; 3. 江南大学, 无锡 214122)

摘要: 根据 SURF 特征, 在标准印铁图像中选择了若干特定的子区域, 进而在检测印件图中选择与其大致对应的子区域, 并提取了其中的 SURF 特征。将所提取的特征和标准图中相应区域中的 SURF 特征进行匹配, 根据匹配结果, 利用最小二乘法获得了 2 幅图的变换参数。随机选择一定数量的匹配像素点, 计算了各自 8 邻域 RGB 平均值, 并转换到了 $L^*a^*b^*$ 颜色空间, 根据 $L^*a^*b^*$ 色差可判断印铁图像是否合格。实验结果表明了该方法的有效性, 同时判别速度满足实际需要。

关键词: 印铁制罐; SURF; 色差

中图分类号: TS851⁺.6; TS807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2012)15-0104-05

Research of On-line Detection of Chromatic Aberration of Image Printed on Tin

XU Ming-liang^{1,2}, LI Cheng-yuan^{1,2}, MEI Juan^{1,3}

(1. The Center of Wuxi Environmental Science & Engineering, Wuxi 214122, China; 2. Wuxi City College of Vocational Technology, Wuxi 214122, China; 3. Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Several special sub-areas were selected according to the SURF feature of the standard image printed on tin slice, and the roughly similar ones in the image to be checked were selected. The SURF features in image to be checked were extracted and matched with those in the sub-areas in standard image. Then according to matched features the transformation parameters between these two images were acquired with least squares method. A certain number of matched pixel pairs were chosen randomly and the RGB averages of their 8 neighborhoods were computed and transferred into $L^*a^*b^*$ model. Then the $L^*a^*b^*$ chromatic aberrations were applied to judge the qualification of tin printing. Experimental results showed that the method is valid and the judgment speed can meet practical requirement.

Key words: tin printing and manufacturing; SURF; chromatic aberration

马口铁罐用于食品储存具有营养损失小, 可补充人体所需要的铁的的优点而成为食品包装的首选材料。同时因其具有坚固、耐震、耐高温高压、不透光、低污染、可回收和密封性好的特点也在其他包装行业得到广泛应用。

马口铁罐制造主要有 2 道工序, 即印铁和制罐。印铁主要是指在马口铁上印刷各种图案, 起到提示和美观作用, 制罐是指将马口铁做成各种客户想要的形状。

在印铁过程中, 由于墨量调节不均匀等原因会造成印件的色误差, 影响产品的一致性。目前国内普遍采用的判别方法是人工判别, 即挑选对颜色较为敏感

的员工进行目视判别。人工判别不但受人的主观因素影响, 而且判别结果因人而异而缺乏一致性, 因此色差的在线自动检测对控制产品质量具有重要的现实意义。

近年来, 在线色差检测受到越来越多研究者的关注。在线检测一般首先利用 CCD 传感器获得检测图像, 然后借助计算机视觉技术进行色差检测, 其基本的要求是在保证可靠性的基础上实现检测的实时性。文献[1]计算瓷砖色度直方图统计值, 并以此作为分类的特征值, 采用最小距离分类原理进行分类决策。由于直方图无法反映色彩的空间分布, 因此对色彩分布不均匀的图像进行色差检测时可靠性无法得到保

收稿日期: 2012-05-03

作者简介: 徐明亮(1973—), 男, 安徽宣城人, 博士, 无锡环境科学与工程研究中心副教授, 主要研究方向为计算机控制。

证。文献[2]提出了基于局部图像的在线检测方法,该方法在图像中选定特定区域,然后计算该区域内各个像素在 $L^*a^*b^*$ 模型中的总体色差来进行检测。在这个方法中,特定区域的中心点的定位比较麻烦,并且总体色差也无法反映颜色的空间分布。文献[3]将图像的 RGB 颜色空间转换到 HSV 颜色空间,再转换到 $L^*a^*b^*$ 颜色空间,再进行模糊 C 均值聚类 and 颜色特征的提取,过程过于复杂,处理时间长。文献[4]提出了基于像素级大小的图像色差检测,为实现系统的实时性和可靠性,首先对图像进行小波分解,然后提取图像低频成分,再将该图像的颜色模式转换到 S-CIELAB 空间,根据色差公式计算色差的均方误差 (MSE) 和峰值信噪比 (PSNR) 来进行色差检测。降维处理后的图像存在色彩信息丢失,同样基于统计的检测方法无法反映图像色彩的空间分布。

为实现印染制罐中的像素级的在线色差检测,文中提出结合图像 SURF 特征的色差在线检测方法,该

方法首先根据标准图和待检图的 SURF 特征计算出两者之间的匹配参数,根据这些匹配参数实现像素级的色差比较。

1 印铁图像色差在线检测系统

1.1 系统结构

色差检测一般是将待检印件和预先选择的具有代表性的标准印件进行比对来判断待检印件色差是否合格。该系统利用 CCD 摄像机获取标准印件的图像并提取 SURF 特征,然后在线采集待检印件图像并提取局部图像 SURF 特征,通过两者的 SURF 特征匹配获得图像匹配参数。最后在标准图像和检测印件图上随机选择一定数量的比对点,根据的 $L^*a^*b^*$ 色差判断出印件印刷质量是否合格。系统流程见图 1。为避免光照变化对图像颜色的影响,图像采集系统处于一个相对封闭且具有独立的白色光照明的环境中。

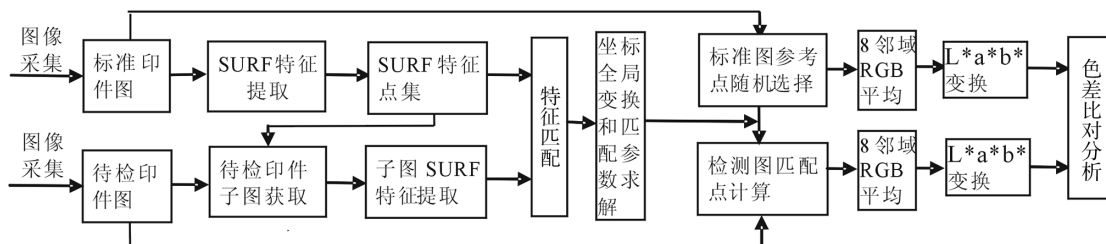


图 1 色差在线检测系统流程

Fig. 1 Workflow of on-line chromatic aberration detection

1.2 SURF 特征提取和匹配参数计算

SURF^[5]作为一种基于尺度空间的图像局部特征描述算子,是对 SIFT 算子^[6]的改进。它在保持 SIFT 算法所具有的对图像缩放、旋转甚至仿射变换不变性的优点的同时,增强了对光照变化以及噪声干扰的鲁棒性,最重要的是降低了算法的时间复杂度,实时性更好,因此广泛应用于图像识别、图像匹配中。

SURF 算法为加快计算速度,使用方框滤波来代替二阶高斯滤波,即使用积分图像加速卷积运算。在 Gaussian 金字塔构造方面, SURF 算法直接通过扩大方框的大小来形成不同尺度的图像金字塔。使用 Hessian 矩阵进行极值点检测,通过方框滤波后 Hessian 矩阵行列式的值可由式(1)计算(式中 D_{xx}, D_{xy}, D_{yy} 为近似模板与图像卷积的结果)。利用 Harr 小波的局部响应建立描述子,即以特征点为中心,特征点主方向

为 x 轴方向,选取 4×4 正方形区域,并对每一个区域计算 Harr 小波响应值,形成如式(2)所示的二维向量(式中 dx, dy 分别为相对于主方向的水平、垂直方向的 Haar 小波响应),最终形成一个 64 维的特征向量来描述。SURF 算法具体流程参见文献[5]。

$$\Delta(H \approx D_{xx}D_{yy} - (0.9D_{xy})^2) \quad (1)$$

$$V_{sub} = (\sum dx, \sum dy, \sum |dx|, \sum |dy|) \quad (2)$$

$$\begin{cases} \forall R_i \quad \exists p \in P \\ \forall i, j, R_i \cap R_j \\ \sum \text{NUM}_p(R_i) \geq 3 \end{cases} \quad (3)$$

图像像素越多,利用 SURF 算法提取的 SURF 特征可能也越多,特征点越多,图像匹配的精度也越高^[7],但特征提取所需时间也越多,特征点越多误匹配的可能性也越高,所耗时间也越多。为保证色差检

测的可靠性,图像的分辨率不能过低。在印染过程中同一批次的印刷图案是相同的,为满足实时性和检测可靠性,对标准印件的图像进行离线全画面特征提取,提取的特征点 p 所构成的集合记为 P ,在标准图中选择若干个矩形子区域 R_i ,这些矩形子区域满足式(3)。

式中 $\text{NUM}_p(R_i)$ 为矩形 R_i 所包含的特征点数。即选择的矩形子区域至少包含一个特征点且两两不相交,为保证匹配参数的有效求解,所有矩形子区域包含的特征点数大于 3。

由于成像条件基本相同,检测印件相对标准印件的旋转和位移较小,因此成像视角虽有所差别,但差别不大。标准印件图矩形子区域 U_i 和检测图中对应的矩形子区域 V_i 的左下、右上坐标可以按式(4)大致确定,即:

$$\begin{cases} x_{ll} = x_{llo} - t, y_{ll} = y_{llo} - t \\ x_{ur} = x_{uro} + t, y_{ur} = y_{uro} + t \end{cases} \quad (4)$$

式中: x_{ll}, y_{ll} 和 x_{ur}, y_{ur} 分别为检测印件图左下和右上坐标值; x_{llo}, y_{llo} 和 x_{uro}, y_{uro} 分别为标准印件图左下和右上坐标值; t 为偏移参数,目的是让检测图中的矩形子区域尺寸稍大,以便尽可能地包含对应的特征点。

在检测图上得到全部的子图后,然后逐一提取这些子区域 SURF 特征。获得检测印件图像 SURF 特征集后,利用最近邻向量匹配法和标准图像 SURF 特征点进行特征匹配。即对检测图 SURF 特征点集合 Q 中任一特征点 q_i ,特征库 P 中与之欧式距离最小的特征点 p_i 即为 q_i 的匹配点。遍历 Q 中的特征点,找出所有潜在的匹配点对。

完成匹配后还需要对检测图中的匹配点坐标进行变换,即变换到检测印件图全局坐标中,记各个特征点的坐标为分别为 $(x_{q1}, y_{q1}), (x_{q2}, y_{q2}), \dots, (x_{qm}, y_{qm})$ (其中 $m \geq 3$),标准印件图中对应的特征点坐标分别为 $(x_{p1}, y_{p1}), (x_{p2}, y_{p2}), \dots, (x_{pm}, y_{pm})$ 。由于马口铁的印前处理保证了马口铁具有很高的平整度以及马口铁本身所具有的刚度,因此标准印件图像和检测印件图像之间的空间变换模型为式所示的全局仿射变换。则匹配点之间有如式(5)所示的变换关系。

$$\begin{bmatrix} x_{q1} & x_{q2} & \cdots & x_{qm} \\ x_{q1} & x_{q2} & \cdots & x_{qm} \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{xx} & a_{xy} & t_x \\ a_{yx} & a_{yy} & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times$$

$$\begin{bmatrix} x_{p1} & x_{p2} & \cdots & x_{pm} \\ x_{p1} & x_{p2} & \cdots & x_{pm} \\ 1 & 1 & \cdots & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

根据匹配的特征点对利用最小二乘法计算 $a_{xx}, a_{xy}, t_x, a_{yx}, a_{yy}, t_y$ 。

2 色差分析

印刷图像色彩分布一般不均匀,理想的检测色差方法是逐点进行色差比对,但计算量大,此外逐点比较不仅易受匹配精度的影响还易受噪声干扰,因此文中采取随机抽样和邻域平均的方式来进行色差分析。先在标准印件图中随机抽取一定数量的像素点,按式(5)根据求解的变换参数计算出检测印件图中对应的匹配像素点。计算匹配点对每一个像素点自身和 8 邻域像素点 RGB 分量的平均值。由于在色差计算中,RGB 颜色空间是不均匀的,即两个点之间的距离和人眼的色差感觉为非线性关系,而在 $L^* a^* b^*$ 颜色空间中的两个点之间的距离和与人眼视觉系统色差感觉是一致的^[7]。为便于色差计算和判断需要将 RGB 颜色空间转换到 $L^* a^* b^*$ 颜色空间,具体变换过程如式(6),(7)所示。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4124 & 0.3575 & 0.1804 \\ 0.2128 & 0.7152 & 0.0722 \\ 0.0193 & 0.1192 & 0.9502 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$L^* = \begin{cases} 116 \times (Y/Y_n)^{1/3} - 16 & (Y/Y_n > 0.008856) \\ 903.3 \times Y/Y_n & (Y/Y_n \leq 0.008856) \end{cases}$$

$$a^* = 500 \times [f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \quad (7)$$

$$b^* = 200 \times [f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]$$

$$\text{其中 } f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & (t > 0.008856) \\ 7.787t + 16/116 & (t \leq 0.008856) \end{cases}$$

式中 X_n, Y_n, Z_n 分别是式(6)中 R, G, B 都为 255 (即白光)计算所得的 X, Y, Z 值。RGB 颜色空间无法直接转换到 $L^* a^* b^*$ 颜色空间,只能先转换到 XYZ 颜色空间再转换到 $L^* a^* b^*$ 颜色空间。记标准印件图像区域和检测印件图像对应区域转换结果为 $(L_p^*, a_p^*, b_p^*), (L_q^*, a_q^*, b_q^*)$ 。根据式(8)计算总体色差。

$$\Delta E = \sqrt{(L_p^* - L_q^*)^2 + (a_p^* - a_q^*)^2 + (b_p^* - b_q^*)^2} \quad (8)$$

根据文献[8],当 $\Delta E > 1.5$ 时说明存在肉眼可察觉色差,印件色差超出合理范围。由于色彩跟光照等

因素有关,为保证结果的准确性,标准印件图像和检测印件图像的采集是在相同环境(即光照和图像采集设备相同)中进行的。

3 实验验证

为验证该方法的有效性,选用松下 DMC-Fx7 数码相机作为图像采集设备,设定拍摄图像尺寸为 $2\,560 \times 1\,920$,光源为 20 W 普通日光灯。标准印件通过图像采集设备所获取的图像见图 2。对其进行

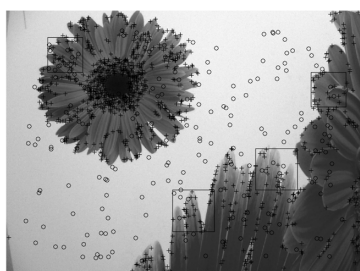


图 2 标准印件

Fig. 2 Standard image of product

离线 SURF 特征提取,提取到的 SURF 特征有 3 000 多个。图 2 中的“+”为部分 SURF 特征点所在位置(进行 SURF 特征提取时相关参数与文献[5]相同),特征点分布并不均匀,部分区域甚至没有提取到 SURF 特征。根据文献[9],为保证匹配的准确度, SURF 特征点对总数在几十个以上,且特征点要尽可能的分散。为此根据标准图 SURF 特征点的分布特征,选择如图 2 中的黑色矩形方框为 SURF 特征选择子区域。图 3 为图像采集设备获取的某个检测印件

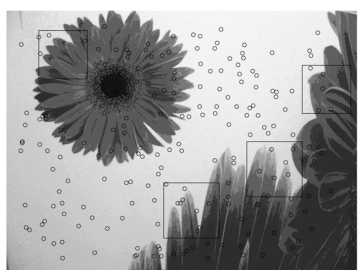


图 3 检测印件

Fig. 3 Image to be checked

图像(合格品),黑色矩形方框为按式(4)确定的子区域,其中参数 α 。对各个子区域进行 SURF 特征提取,然后和标准图中的子区域的特征点进行匹配(图 4 所示为检测印件图左上角子区域特征点和标准图特征

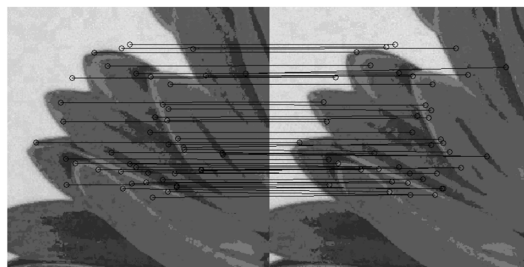


图 4 局部特征匹配

Fig. 4 Local feature matching

点匹配情况)。根据匹配点求出匹配参数。在标准印件图中随机选择 200 检测点(图 2 中的“○”表示随机抽样点的位置),并根据匹配参数获得检测印件图中相应的映射点(图 3 中的“○”所示)。最后对 200 个点对进行色差计算,其中 ΔE 最大值为 0.98,小于 1.5,可以判定此印件合格。图 5 为检测到的局部偏紫

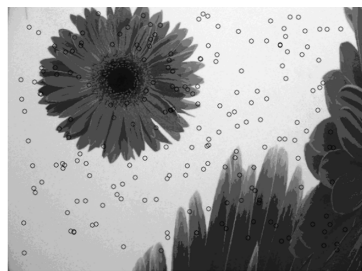


图 5 局部偏紫印件图像

Fig. 5 Image of local violet deflection

的印件图像,在 200 对点中有 86 个点对的 ΔE 大于 1.5,因此可以判定此印件不合格。

此外在检测中,所需时间不超过 2 s,能满足实际生产需要。

4 结语

离线提取标准印件图像 SURF 特征并根据其分布选择合适的子区域,这样能提高图像变换参数的求解精度,还可以避免自动选择子区域可能造成该区域无 SURF 特征。选择检测印件局部图像进行 SURF 特征和匹配,在一定程度上可以消除误匹配,更重要的是能减少计算量,加快了处理速度。邻域平均避免了噪声干扰所引起的误判,而采用随机抽样的方法不仅能顾及到图像颜色的空间分布,也能实现近似全面面色差检测。实验结果表明了该方法的有效性,处理速度能满足实际需要。

参考文献:

- [1] 李温温, 王宝光, 张岩. 瓷砖色差在线分类系统的研究[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(3): 13-15.
LI Wen-wen, WANG Bao-guang, ZHANG Yan. Study on Online Classifying System for Color Difference of Ceramic Tiles[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2010, 29(3): 13-15.
- [2] 刘素一, 刘晶璟, 薛勇, 邹崇涛. 基于计算机视觉的织物色差检测[J]. 棉纺织技术, 2008, 36(6): 32-35.
LIU Su-yi, LIU Jing-jing, XUE Yong, et al. Detection of Fabric Chromatism based on Computer Vision Cotton Textile Technology[J]. 2008, 36(6): 32-35.
- [3] 高春甫, 贺新升, 唐可洪, 等. 随机纹理图像的色差检测[J]. 光学精密工程, 2009, 17(8): 1999-2003.
GAO Chun-fu, HE Xin-sheng, TANG Ke-hong, et al. Optics and Precision Engineering, 2009 17(8): 1999-2003.
- [4] 于佳, 张二虎. 基于全画面的印刷品在线色差检测模型[J]. 包装工程, 2009, 32(6): 43-48.
YU Jia, ZHANG Er-hu. On-line Color Difference Detection Model Based on Whole Image [J]. Packaging Engineering, 2009, 32(6): 43-48.
- [5] BAY H, ESS A, TUYTELAARS T, et al. Speeded-up Robust Features[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3): 346-359.
- [6] Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. The International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [7] 郑元林, 杨淑蕙, 周世生, 等. CIE 1976 LAB 色差公式的均匀性研究[J]. 包装工程, 2005, 26(2): 48-49.
ZHENG Yuan-lin, YANG Shu-hui, ZHOU Shi-sheng, et al. Research on Uniformity of CIE 1976 LAB Color Difference Formula[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(2): 48-49.
- [8] 宋宗明. 颜色测控技术原理及其应用[M]. 西安: 西北纺织工学院教材科, 1995: 76-77.
SONG Zong-ming Principle and Its Application of color measurement and control technology[M]. Xi an: the department of teaching materials of Northwest institute of textile engineering, 1995: 76-77.
- [9] 卜珂. 基于 SURF 的图像配准与拼接技术研究[D]. 大连理工大学, 2009
BO Ke. Research on Image Registration and Mosaic based on SURF [D]. Dalian University of Teehnology, 2009.
- ~~~~~
- (上接第 60 页)
- [2] 王俊丽, 郑全成. 瓦楞纸箱的含水率对力学性能的影响[J]. 兰州交通大学学报(自然科学版), 2006, 25(3): 134-136.
WANG Jun-li, ZHENG Quan-cheng. Effect of Moisture Content of Corrugated Box on Mechanical Properties[J]. Journal of Lanzhou Transport University (Natural Sciences), 2006, 25(3): 134-136.
- [3] 武丽丽, 黄颖为. 塑料周转箱结构与力学性能研究[J]. 西安理工大学学报, 2011, 27(1): 102-106.
WU Li-li, HUANG Ying-wei. Research on Structural Design and Mechanics of Plastic Container[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2011, 27(1): 102-106.
- [4] 周家乐. 包装结构设计新思维[J]. 包装工程, 2008, 29(8): 233-234.
ZHOU Jia-le. New Ideas on Structural Design[J]. Packaging Engineering, 2008, 29(8): 233-234.
- [5] 张军. 绿色包装结构设计在绿色包装设计中的作用[J]. 艺术与设计(理论), 2009(8): 92-93.
ZHANG Jun. Structural Design of Green Packaging in Green Packaging Design[J]. Art and Design, 2009(8): 92-93.
- [6] 孙诚. 包装结构设计[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2008, 7.
SUN Cheng. Packaging Structural Design[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2008.
- [7] 王建清. 包装材料学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2010, 7.
WANG Jian-qing. Packaging Materials [M]. Beijing: Light Industry Press, 2010.
- [8] 宋宝丰. 包装容器结构与制造[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2007.
SONG Bao-feng. Structural Design and Manufacturing of Packaging Containers [M]. Beijing: Printing Industry Press, 2007.