柔版印刷套印误差检测技术研究

裴茂印[1]，张荣福[1]，曾忠[2]，张仁杰[1]
（1.上海理工大学，上海 200093；2.上海出版印刷高等专科学校，上海 200093）

摘要：目的 为了提高柔版印刷过程中套印误差的检测精度。**方法** 分析了柔版印刷产生套印误差的主要原因，并提出了一种基于机器视觉的套印误差检测方法。首先进行工业相机的标定，获取原始的“十”字圆环标记图像，采用融合滤波算法对图像进行预处理，对预处理后图像进行数据分析时，提出一种二次分割算法进行图像色彩分离；再使用模板匹配算法进行模板匹配，获取偏差数据进行套印偏差分析。**结果** 使用该算法在实验中对 5 组标记图像的轴向、纵向检测误差，均控制在 0.03 mm 以内，符合行业检测误差在 0.2 mm 以内的检测标准。**结论** 提出的基于视觉的套印误差检测方法具有识别准确率高、处理速度快的特点，能可靠稳定地运行，具有一定的可行性。

关键词：柔版印刷；套印误差；图像二次分割；融合滤波
中图分类号：TS873 **文献标识码：**A **文章编号：**1001-3563(2019)23-0245-06
DOI：10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.23.036

Overprint Error Detection Technology of Flexographic Printing

PEI Mao-yin[1], *ZHANG Rong-fu*[1], *ZENG Zhong*[2], *ZHANG Ren-jie*[1]
(1.University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China;
2.Shanghai Publishing and Printing College, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: The paper aims to improve the detection accuracy of overprint error in flexographic printing. In this paper, the main causes of overprint error in flexographic printing were analyzed, and a method of overprint error detection based on machine vision was proposed. Firstly, the industrial camera was calibrated to obtain the original "cross-shaped" circle marking image, and the image was preprocessed by fusion filtering algorithm. A second segmentation algorithm was proposed for image color separation when the preprocessed image was analyzed by data analysis. Then template matching algorithm was used for template matching to obtain the deviation data for overprint deviation analysis. In the experiment, the axial and vertical detection errors of the five sets of alignment markers were all controlled within 0.03 mm, which was far in line with the detection standard of the industry within 0.2 mm. The visual-based overprint error detection method proposed in this paper has the characteristics of high recognition accuracy, fast processing speed, reliable and stable operation, and has a certain feasibility.

KEY WORDS: flexography; overprint error; image secondary segmentation; fusion filtering

早期的柔版印刷技术主要用于报刊印刷，而随着技术的发展和印刷材料的完善，其作为“绿色印刷”技术，运用越来越广泛。在印刷过程当中，对其套印误差的检测是重要的环节之一，其关键核心在于自动套准的精度。

国外的视觉印刷检测研究起步较早，理论研究相

收稿日期：2019-04-15
作者简介：裴茂印（1992—），男，上海理工大学硕士生，主攻自动测量与检测装置、图像处理。
通信作者：曾忠（1964—），男，上海出版印刷高等专科学校教授，主要研究方向为机械制造及其自动化。

对成熟[1—3]。Tanimizu[4]提出了一种空间索引法，通过对比匹配模板和待检测图像像素的不同，得出检测结果，此方法处理数据量太大，速度慢，不能很好地满足实时性的要求；Mehenni[5]提出了一种将 n-tuple 方法和逐像素比较法融合的方法，优点是算法处理速度快，输出参数多，但是对硬件的要求较高，成本高，价格比较昂贵。国内视觉处理的算法研究备受社会的关注，特别是在各高校和企业之间，国内学者也做出了大量研究。陈天牧[6]提出了一种基于 BP 神经网络 PID 控制的凹印机自动套准系统；张海燕等[7]提出了一种基于图像处理的单张纸胶印机对角线套准及自动控制系统；李治江[8]等提出了基于序贯相似性检测算法的彩色印品套准精度检测方法。视觉检测技术融合了视觉科学和图像处理技术，许多印刷套印误差检测技术的研究表明[9—13]，机器视觉检测技术完全可以代替人工检测。

1 套印误差检测原理

1.1 套印误差产生的原因分析

套印技术将不同颜色的同一图案准确地重叠印刷，最终印刷出与原稿相同的印品。在允许的误差范围内进行着色印刷称为套印准确，简称套准，印刷过程当中套准是最基本的工艺要求，定位标记法是常用的误差检测方法。在印刷中一般使用“十”字圆环做套印误差的检测标记。导致套印不准的因素有很多，比如导辊和压辊的平行度差及动平衡不良或者承印物的热形变等，主要因素分为以下 3 个方面：印前制版方面，印前制版的制作工艺相当繁杂，容易受很多因素的影响，例如图像像素分辨率低，拼版、晒版引起的误差等；操作方面，人为因素如印版安装引起的误差、油墨粘稠度调控误差，非人为因素如纸张受潮产生形变等；机械方面，如印刷设备在印刷过程中产生震动，输纸机构、传动机构的机械磨损等导致的精度变化。

综上所述，套印误差的产生是多种因素综合影响的结果，误差的产生具有随机性、不可避免性。其中最重要的因素就是误差检测的精度，而误差的检测精度由检测方法决定，所以很有必要研究一套高精度的套印误差检测方法。

1.2 套印误差检测原理

印刷机 4 个印版辊带有 4 种不同的颜色，承印物依次通过印版辊筒时被依次转印上不同颜色的图案，其中也包括“十”字圆环标记。传统的检测方法是当各色的十字标记完全重合时，被视为套印准确；否则，视为套印误差。纵向和横向套印误差为 2 种常见的套印误差。

以第 1 印刷色——黑色为基准色版，来测定 C，M，Y 等 3 个色标的坐标偏移量，得到套印误差，见图 1。

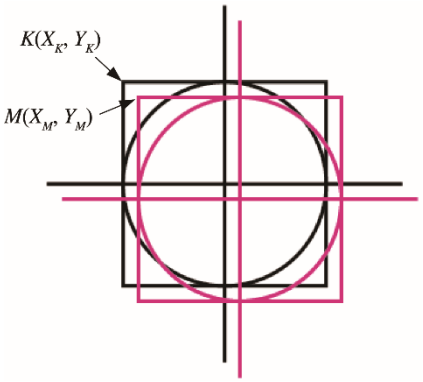


图 1 套印偏差

Fig.1 Bias of overprint

如图 1 所示，以黑色版左上角为匹配点，坐标为 K（X_K, Y_K），其他各个版套印标记的匹配点坐标为(X_i, Y_i)，i 为 C，M，Y，则 C，M，Y 各色标的坐标偏移量是：

$$\begin{cases}\Delta X_i = X_K - X_i \\ \Delta Y_i = Y_K - Y_i\end{cases} \tag{1}$$

式中：ΔX_i，ΔY_i 分别是水平和垂直方向上的偏移量，即其他色版相对于黑色版的纵向和轴向套印误差，若等于标准值则表示无偏差，若大于或小于标准值，则由控制系统进行校准，正负代表方向。

印刷过程中，套印偏差在性质上常常具有连续性和不确定性，差量也具有不确定性和随机性，为了减少损失必须要在印刷过程中一直对设备进行套印误差检测并修正[14]。传统的依靠人工肉眼检测套印的偏差，凭借经验调整补偿套印偏差，因此，大大降低了印刷速度和印刷质量，所以必须对设备进行自动调节补偿套印偏差。

2 检测系统构成

视觉检测系统结构见图 2。利用工业相机获取标记图像，通过从机安装检测软件系统，进行算法分析和图像处理，得出偏差数据，然后将偏差数据传输至主机端，通过控制模块（PLC）对电机进行控制，结合偏差数据调节套准机构。

实验所采用的硬件平台由工业相机模块、光源模块、计算机等组成。采用大恒 CCD 工业数字智能相机，此款相机型号为 MER-125-30UM，具有体积小，带有 USB 接口便于数据传输，性价比较高等特点。光源模块的选择重要依据是为了避免外部光线的干扰，帮助相机获得清晰的原始图像数据，结合实验的具体情况，选择 LED 环形光源前向照明方式。

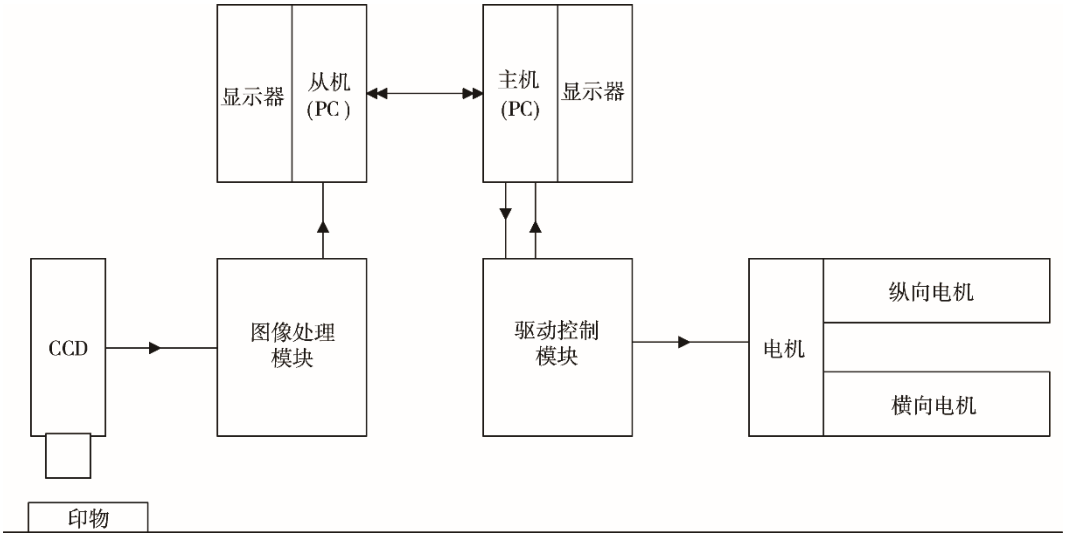


图 2　视觉系统的组成
Fig.2 Composition of visual system

3　图像处理及分析

3.1　实验数据分析

进行数据处理分析时，对采集到的原始标记图像利用 VC++（2010）进行编程算法处理，达到图像去噪、色彩分割、模板匹配和偏差数据计算等目的。

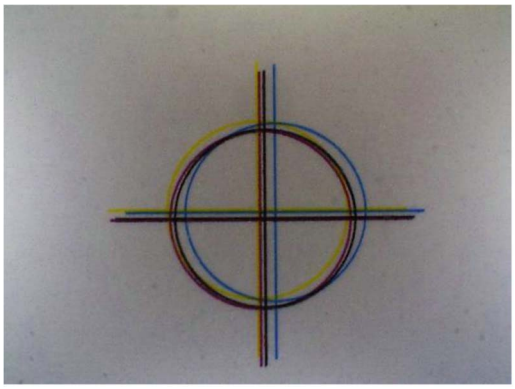
在外界和检测系统本身都存在不可避免的干扰，获取图像的原始标记图像会包含各种噪声。噪声不仅会严重影响图片的质量，而且更不利于后期图像处理，甚至影响整个系统最终的处理结果，因此，需要对图像进行预处理，消除噪声。原始图像及包含的噪声污点见图 3。

消除噪声的办法通常可以分为频域增强和空间域增强两大类。常用的办法有中值滤波、均值滤波和高斯滤波，这些算法处理图像各有优劣点，综合考虑，选择一种基于 3×3 高斯滤波与 5×5 中值滤波的融合算法，该算法原理是在先对图像进行 3×3 高斯滤波后，再进行 5×5 中值滤波，融合后的算法不仅可以很好地消除噪声，而且很好地保存了边缘特征。

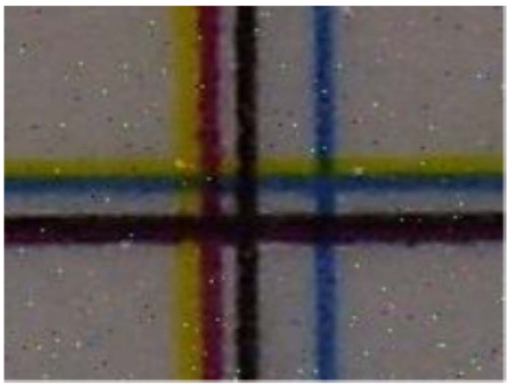
根据式（2）将图像从 RGB 模式转换到 CMYK 空间模式，得到 4 个矩阵 data C，data M，data Y，data K。此时的 4 个通道中分别存储不同色彩的原始信息。由于原始图像包含其他噪声，转换后的各通道会包含一些其他色彩的信息，只是每种颜色在不同的通道矩阵中占比不同。可通过分别设定合理的阈值 TH_C, TH_M, TH_Y, TH_K 对 4 个通道信息进行滤波。

基于印刷分色的原理，将其转化为 CMYK 模型：

$$\begin{cases} K = \mathrm{Min}(1-R,1-G,1-B) \\ C = (1-R-B)/(1-K) \\ M = (1-G-B)/(1-K) \\ Y = (1-K-B)/(1-K) \end{cases} \tag{2}$$



a 噪声点

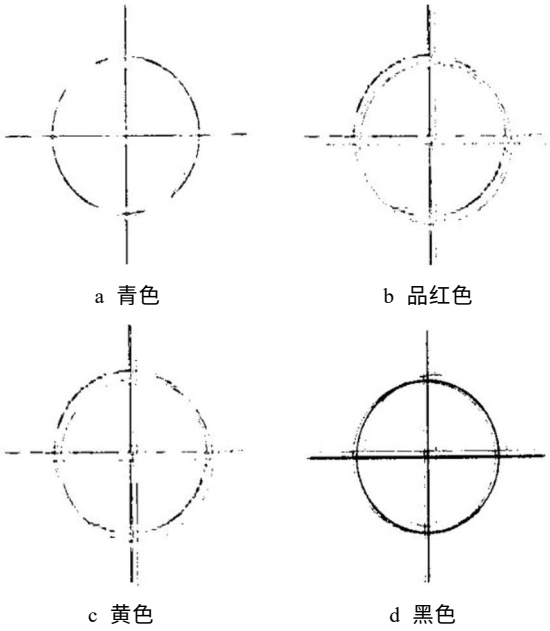


b 噪声点局部放大

图 3　标记图像及图像中包含的噪声
Fig.3 Mark image and noise figure contained in image

式中：C，M，Y，K 分别是印刷四原色的值。

当 data $C(m, n)$＞TH_C 时，像素(m, n)的颜色为青色；data $M(m, n)$＞TH_M 时，像素(m, n)的颜色是品红色；当 data $Y(m, n)$＞TH_Y 时，像素(m, n)的颜色为黄色；当 data $K(m, n)$＞TH_K 时，像素(m, n)的颜色为黑色。



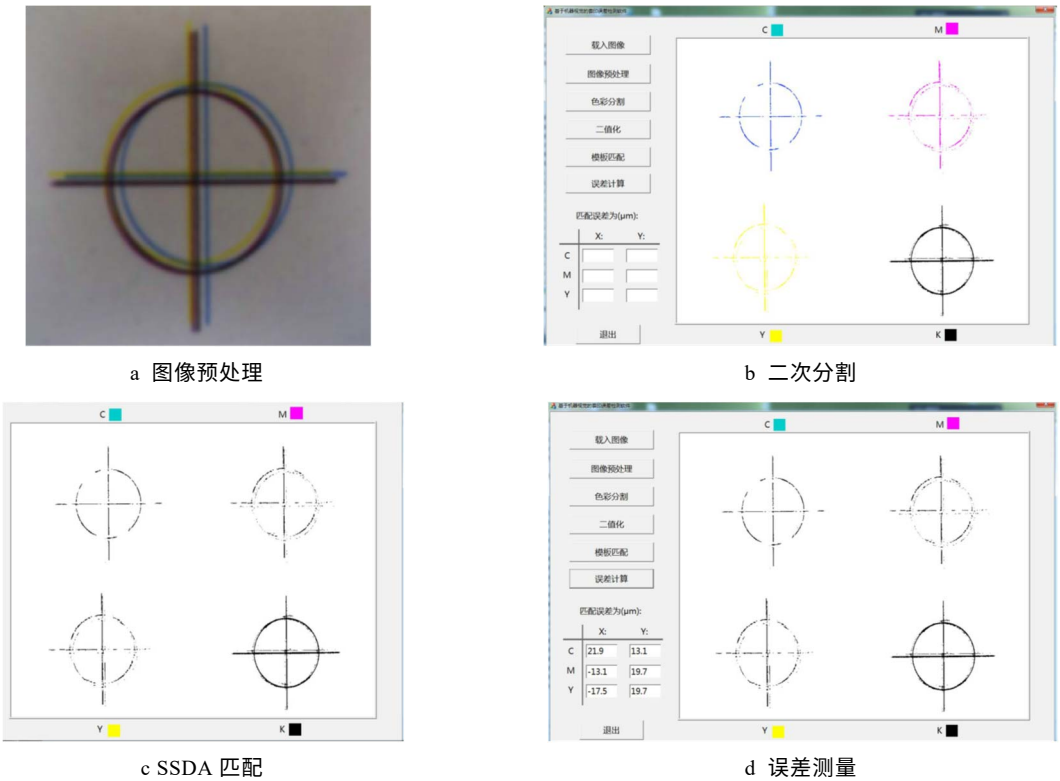
a 青色　b 品红色　c 黄色　d 黑色

图 4　二次分割法的色彩分割结果

Fig.4 Color segmentation results of quadratic segmentation

在进行色彩分割算法时，采用了一种基于 CMYK 阈值法和目标特征为基础的色彩分割算法——二次分割算法[15]。采用该算法进行色彩分割时分以下 3 个过程：将预处理后的标记图像转变成 CMYK 模型；进行 CMYK 阈值法色彩分割，并重建新的 RGB 图像；将新图像转变成 HSI 模型，采用基于目标特征的色彩分割法进行第 2 次分割，得到 4 幅图像，其中黑色图像舍弃，采用第 1 次分割得到的黑色图像作为最终黑色套准标记分割结果，见图 4。这样做既能利用 CMYK 阈值法进行第 1 次分割得到黑色标记，来避免断裂现象，又能对重建后的图像执行第 2 种分割方法，得到反映套印误差的 CMYK 四色图像，避免颜色的缺失与偏离现象。

对分割后的图像采用均值滤波和形态开运算做图像后处理，去除毛刺和不连续像素点，提高后续的匹配精度；选择了一种基于 SSDA 算法的隔行隔列粗匹配和传统模板匹配细匹配的套准标记定位方法，在提高匹配速度的同时保证匹配精度[16]。利用 VC++（2010）进行软件界面的编程，算法运行结果见图 5。



a 图像预处理　b 二次分割

c SSDA 匹配　d 误差测量

图 5　算法运行结果

Fig.5 computational results of the algorithm

3.2　套印偏差分析

基于上述流程处理方法可得到左上角匹配点的坐标，根据式（3）就可以计算出各色的偏差量。匹配点坐标的差值反映各方向上套印的偏差，也就是在纵轴的偏差即为在 y 坐标的偏移量，横轴偏差即为在 x 坐标的偏移量。分别有以下 4 种情况：在 x 方向上，如果偏移量大于 0，则反映了该色版相对于底版（黑色版）向左偏移，如果偏移量为小于 0，则反映该色版相对于底版向右偏移；在 y 方向上，如果偏移量为大于 0，则反映该色版相对于底版向下偏移，如果偏移量小于 0，则反映了该色版相对于底版向上偏移。

偏差计算公式为：

$$被测物体实际尺寸=\frac{标准件实际尺寸}{标准件像素值}\times 被测物体像素 \tag{3}$$

由偏差计算公式可以得出各色版相对于黑色版的偏移大小和方向，但是这个偏移量表示的是像素的偏差值，如果要得到实际的误差还需要用偏移量乘以 0.0102 mm。

根据上述检测方法，在实验室相同的条件下采集 3 组预先设定好偏差的套印标记进行实验，每组 5 个样本。数值代表误差，正负代表方向，计算得出的每组平均误差见表 1。

表 1　检测值与设计值检测的比较

Tab.1 Comparisons of detection value and design value detection　　mm

样本	误差方向	C（青）			M（品红）			Y（黄）		
		实验	实际	检测误差	实验	实际	检测误差	实验	实际	检测误差
1	x	− 0.294	− 0.30	0.006	0.339	0.35	0.011	0.610	0.60	0.010
	y	− 0.373	− 0.40	0.027	− 0.226	− 0.25	0.024	− 0.124	− 0.10	0.024
2	x	0.316	0.30	0.016	− 0.339	− 0.35	0.011	0.565	0.55	0.015
	y	− 0.678	− 0.70	0.022	0.723	0.70	0.023	− 0.328	− 0.30	0.028
3	x	0.791	0.80	0.009	0.802	0.80	0.002	0.791	0.80	0.009
	y	− 0.226	− 0.20	0.026	− 0.475	− 0.50	0.025	− 0.373	− 0.40	0.027

国家印刷行业套准精度的要求是检测误差不高于 0.2 mm，上述实验数据表明，文中方法的检测精度远远高于行业标准；该系统理论的套印检测速度远高于高速印刷机的印刷速度，在实际的检测运行过程中能很好地满足实时性的要求。特别是采用新的融合算法对图像进行处理，大大提高了图片的质量；色彩的二次分割算法也起到了很好的效果。但是在色彩分离时，黑色和其他颜色融合在一起，可能会吸收其他颜色，不能很好地达到理想的分离效果，算法还有待进一步优化。

综上所述，提出的基于视觉的套印误差检测方法是可靠的，具有一定的可行性，较传统的检测方法检测精度较高，具有一定的实际意义，但针对实验中出现的色彩分离不理想等问题，还有待进一步改进。

4　结语

研究分析了柔版印刷中出现套印误差的主要原因，并提出一种基于机器视觉的检测方法。该方法在利用工业相机获取高清标记图像后，使用一种融合滤波算法对图像进行去噪预处理，大大减少了二次分割算法的数据处理时间，提出的二次分割算法在一定程度上避免了图像分割后的色彩缺失与偏离，很好地将图像分为四色单层图像，便于后续的误差数据对比分析。实验数据表明，检测精度能达到 0.03 mm，能很好地满足印刷行业检测标准，具有一定的可行性。

参考文献：

[1] JONAS G, LUIZ V. Image Processing for Computer Graphics[M]. Springer-Verlag, 2000: 112—115.

[2] GAO J, DUAN Z X. Overprint Error Detection Algorithm Based on Mathematical Morphology[J]. Journal of Computer Applications, 2010, 30(2): 437—440..

[3] THOMAS C, ANDREW A R W, HAZEL E A. Flexography Printing for Organic Thin Film Transistors[J]. Materials Today: Proceedings, 2018, 5(8): 16051—16057.

[4] TANIMIZU K, MEGURO S, ISHII A. High-speed Defect Detection Method for Color Printed Mater[C]// Industrial Electronics Society, 16th Annual Conference of IEEE. 1990, 11: 653—658.

[5] MEHENNI B, WAHAB M A. Automatic Pattern Recognition and Inspection System[J]. Computers in Design, Manufacturing, and Production, 1993, 5: 23—28.

[6] 陈天牧. 基于 BP 神经网络 PID 控制的凹印机自动套准系统研究[D]. 北京: 北京印刷学院, 2018.
CHEN Tian-mu. Research on Automatic Registration System of Gravure Press Based on BP Neural Network PID Control[D]. Beijing: Beijing Institute of Graphic Communication, 2018.

[7] 张海燕, 赵博. 基于图像处理的单张纸胶印机对角线套准及自动控制系统[J]. 包装工程, 2005, 26(2): 50—51.
ZHANG Hai-yan, ZHAO Bo. Diagonal Register and Automatic Control System Based on Image Processing for the Sheet-fed Offset Press[J]. Packaging Engineering, 2005, 26(2): 50—51.

[8] 李治江, 董川, 杨萍. 基于序贯相似性检测算法的彩色印品套准精度检测方法[J]. 中国印刷与包装研究, 2014, 6(2): 30—35.
LI Zhi-jiang, DONG Chuan, YANG Ping. Overprinting Accuracy Detection of Multi-color Printing Based on SSDA[J]. China Printing and Packaging Study, 2014, 6(2): 30—35.

[9] 张岩, 刘士伟, 李玉山. 柔印制版质量数字化控制方

法的研究[J]. 包装工程, 2012, 33(3): 99—103.
ZHANG Yan, LIU Shi-wei, LI Yu-shan. Study of Digital Quality Control Method of Plate Making of Flexographic Printing[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(3): 99—103.

[10] 于瑞湘. 曲面印刷机光电自动套准系统关键技术研究[D]. 太原: 中北大学, 2014.
YU Rui-xiang. The Key Technology Research on The Photoelectric Automatic Alignment System of The Surface Printing Machine[D]. Taiyuan: North University of China, 2014.

[11] 王世辉. 印刷品套印精度检测及控制技术研究[D]. 北京: 北京印刷学院, 2017.
WANG Shi-hui. Research on Printing Register Accuracy Detection and Control Technology[D]. Beijing: Beijing Institute of Graphic Communication, 2017.

[12] 简川霞, 高健, 李克天, 等. 印刷套准识别方法研究[J]. 包装工程, 2015, 36(7): 129—133.
JIAN Chuan-xia, GAO Jian, LI Ke-tian, et al. Printing Registration Recognition[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(7): 129—133.

[13] 王跃宗, 刘京会, 李德胜. 套准偏差自动检测方法[J]. 机械工程学报, 2009, 45(12): 242—246.
WANG Yue-zong, LIU Jing-hui, LI De-sheng. Automatic Detected Method of Register for Color Printing[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2009, 45(12): 242—246.

[14] 蒋斌, 颜钢锋. 凹版印刷机自动套色系统的控制方法与实现[J]. 包装工程, 2000, 21(6): 9—11.
JIANG Bin, YAN Gang-feng. The Method and Realization of Automatic Register Controller for Gravure Printing[J]. Packaging Engineering, 2000, 21(6): 9—11.

[15] 张军. 基于机器视觉的柔版印刷自动套准关键技术研究[D]. 上海: 上海理工大学, 2018.
ZHANG Jun. The Key Research on Automatic Registration of Flexographic Based on Machine Vision[D]. Shanghai: University of Shanghai for Science and Technology, 2018.

[16] 王文胜, 翟尚礼, 白俊奇. 基于 SSDA 的图像匹配跟踪算法[J]. 指挥信息系统与技术, 2016, 7(6): 77—80.
WANG Wen-sheng, ZHAI Shang-li, BAI Jun-qi. Image Matching Pursuit Algorithm Based on SSDA[J]. Command Information System and Technology, 2016, 7(6): 77—80.