

文章编号: 0253-9721(2008)07-0112-05

快速匹配算法及其在圆网印花机上的应用

李 鹏¹, 郝矿荣¹, 丁永生^{1,2}

(1. 东华大学 信息科学与技术学院, 上海 201620; 2. 东华大学 数字化纺织服装技术教育部工程研究中心, 上海 201620)

摘 要 圆网印花机的对花系统在图像处理过程中需满足实时性要求。结合研究课题的特点给出了一种基于分块匹配策略的快速匹配算法,其目的是为了得到错花图像的位置误差矢量,为以后的闭环控制打下基础。该算法结合了点模式匹配算法及块匹配算法的思想,可分为离线的模板制作和在线的分块匹配 2 部分。分块匹配策略减少了数据运算量,提高了运算速度,实验表明,该算法较基于灰度值的全局匹配算法大大提高了匹配速度,是一种实用有效的快速匹配算法,不仅可以达到高的精度,而且通过分块处理,提高运算速度,可以满足印花制品在线检测的要求。

关键词 特征点; 在线检测; 快速匹配; 圆网印花; 图像处理

中图分类号: TP 391 文献标识码: A

Fast matching algorithm and its application to rotary screen printing machines

LI Peng¹, HAO Kuangrong¹, DING Yongsheng^{1,2}

(1. College of Information Sciences and Technology, Donghua University, Shanghai 201620, China; 2. Engineering Research Center of Digitized Textile & Fashion Technology, Ministry of Education, Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract In image processing, the registering system of Rotary Screen Printing Machine (RSPM) needs to meet the demand of real-time inspection. This paper presents a fast matching algorithm based on pattern inspection system research of RSPM, its goal is to obtain the position vector of off-pattern-image, builds the foundation for the later closed-loop control. The algorithm combines the point pattern matching algorithm and the block-matching algorithm. Block matching strategy reduces the data computing and improves the operation speed, the simulation results show that it outperforms traditional matching algorithms of grey level based full search strategy, and it is a practical and suitable matching algorithm, it can not only achieve high accuracy, but also improve computing speed through the block matching strategy. The online inspection of RSPM can be realized.

Key words feature points; on-line inspection; fast matching; rotary screen printing; image processing

对花精度是圆网印花机对花系统中的重要技术指标之一,为了提高对花精度,一种做法是采用电气手段使圆网与导带精确同步,具体有使用激光、电子脉冲或安装霍尔元件等方法;另一种做法是采用对花控制,即及时发现对花误差并消除。早期一般用人工目测的方法,后来采用半闭环控制系统,在圆网或带动圆网运转的步进电机上设置定位标志,通过检测这个标志的位置就能间接地得出对花的误差信

息。文献[1]给出了一种利用图像间接得到误差信息的方法:印刷的同时在印刷品上印上标记,通过色差传感器测量径向的套色误差信息。

近年来由于计算机技术、图像处理技术的发展,基于机器视觉^[2]的在线检测系统在工业中的应用越来越广泛。文献[3]给出了基于机器视觉的圆网印花机对花系统的理论模型,但没有给出具体的图像处理算法,文献[4]用硬件的方法在线提取印花图案

收稿日期: 2007-06-18 修回日期: 2008-03-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60775052); 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-04-415); 教育部科技创新工程重大项目培育资金项目(706024); 上海市国际科技合作基金项目(061307041)

作者简介: 李鹏(1982—), 男, 硕士生。主要研究方向为基于机器视觉的在线检测和图像处理技术。郝矿荣, 通讯作者, E-mail: krhao@dhu.edu.cn.

的位置信息,进而与标准图像比较得出误差信息,但是大部分情况下印花图案很难完整地提取出来,尤其是散乱的线条或碎花。本文提出了一种利用印花图案局部信息块的快速匹配算法,即离线提取标准印花图案中比较重要的局部信息块,通过块匹配的方法与在线得到的图像进行比较,得到块的中心坐标,对其分析可得到印花图案的位置信息。它不仅可以达到高的精度,而且分块处理大大减少了数据运算量,提高了运算速度。

1 对花图像快速匹配算法框架

圆网印花机对花图像快速匹配算法的理论框架如图 1 所示。分为图像预处理、特征点选取和基于点特征的分块匹配策略。

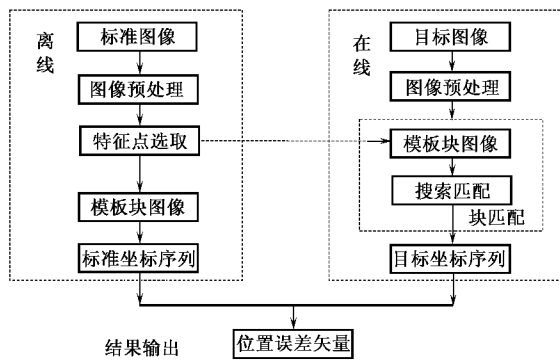


图 1 圆网印花机对花图像处理流程图

Fig. 1 Image processing flow chart for pattern inspection of rotary screen print

1.1 图像预处理

图像预处理是图像分析处理的第 1 步。采集的图像不可避免地受到噪声影响,预处理就是尽量消除影响,保留有用数据。因为后面的方法要以特征点为依据选取切块图像作为模板图像,而在标准图像中没有滤除的噪声点可能被错误地判定为特征点,因此采用 3×3 的模板滤波可以抑制噪声,能够较好地保持轮廓信息和准确的边缘,为后续的匹配及测量提供保证。

套色印花是将 2 种及 2 种以上的颜色印制在同一承印物上的工艺,圆网印花机上 1 个圆网套印 1 种颜色。因此在印制第 N 套色时,可以认为之前的 $N-1$ 次套色花型是背景且无“错位”,只检测第 N 个圆网的印花图案是否发生“错位”。本文所用方法的优点是可以节省时间,且不会对分析产生错误影响。例如对于有 2 种不同颜色的相同图案不会误认

为是同一种花型。

在离线学习时背景的去除需要先验知识,操作时可以根据分色软件的分色信息或人工给出,据此可以选取合适的阈值完成背景的去除。背景的去除发生在离线对标准模板图像进行学习的阶段上,这样做的目的是只检测新的套色图案而忽略前面的已印图案,它的过程实际上是一个二分色的过程。

1.2 圆网印花对花图像特征点提取

1.2.1 基于 Harris 算子的角点选取

角点是图像理解和模式识别中重要的图像特征,它一般对应于图像中信息含量高的位置,它们在保留了图像中物体重要特征信息的同时有效地减少了信息处理的计算量,因此使用角点进行匹配计算能够大大减少计算量。

Harris 算子^[5]是 Harris C 和 Stephens M J 提出的一种基于信号的点特征提取算子,具有计算简单,提取的角点特征均匀合理,可以定量提取特征点以及算子稳定的特点。其处理过程为

$$M = \text{Gauss}(\bar{s}) \otimes I \quad (1)$$

式中: $I = \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}$ 为双梯度矩阵; I_x 、 I_y 分别为图像在 x 、 y 方向上的一阶偏导; $\text{Gauss}(\bar{s})$ 为高斯模板; M 为对 I 进行高斯平滑滤波后的值。

$$R = \det(M) - k(\text{trace}(M))^2,$$

$$k = 0.04 \sim 0.06 \quad (2)$$

式中: \det 为矩阵的行列式; trace 为矩阵的迹; k 为角点检测的自由参数。矩阵中每 1 点的元素值对应于原图相应点的角点量,只有当角点量大于某一阈值 Threshold 时才被认为是角点。

通常阈值不能选得太小,太小则会增加特征点的数量及后续匹配的计算量,太大则会增加漏选的可能性,在实际应用中可根据经验选取合适的阈值。对于采用角点算子提取点数量不足的情况,具体应用时可以根据实际情况采用人工选取标识点的办法,在套色边界上的转折处选取适当的点。

1.2.2 特征点的筛选

根据角点的稳定性、可靠性及抗噪声性准则^[6]及所选特征块的唯一性准则,对所生成的特征点进行筛选,分为以下几个步骤。

1) 相邻 2 个角点的距离不能小于切块的大小,即要满足: $\forall p_i(x_i, y_i) \in P, |p_i(x_i, y_i) - p_j(x_j, y_j)|_{x,y} \geq \text{BlockSize}, i, j \in (1, 2, \dots, n)$, 其中 P 为通过角点检测得到的点集, n 为点集的数量, BlockSize

为分块的大小。 $| \cdot |_{x,y}$ 为分别在 x 、 y 方向做距离运算。

2) 以特征点为中心选取块长度为 $BlockSize$ 的正方形区域,先在标准图像上做匹配,若找到 2 个或 2 个以上的匹配区域,则将该特征点删除,以使其满足稳定性及可靠性要求。

3) 考虑到实时性问题及只需少量点即可完成对主要发生在纵向(导带运动方向)的位置误差信息的检测,对得到的点集在满足上述 2 条约束准则的情况下,再采用随机纵向采样的方法来缩小特征点的数量,实验在纵向块区域内只选取 5 个点做考察。实际可根据精度要求和实时性要求适当选择特征点数量。

1.3 基于特征块的快速匹配

图像匹配技术是在目标图像中搜索与模板图像相似度最高区域的过程,可以分为基于灰度的匹配算法和基于特征的匹配算法,前者的匹配运算量相当大,尽管由于搜索策略不同使处理时间有所不同,但一般很难满足实时要求。基于特征的匹配对于图像畸变、噪声和遮挡具有一定的鲁棒性,但是它的匹配精度不是很高,其匹配性能很大程度上依赖于特征提取的质量。本文提出的快速匹配算法结合了这 2 种算法的优点,通过先离线学习得到感兴趣块,然后在以块为中心,搜索半径为 $SearchSize$ 较小的“十”字形搜索区域里再进行相关匹配,其示意如图 2 所示,它不仅可以达到高的精度,而且通过分块处理,大大减少了数据运算量,提高了运算速度。

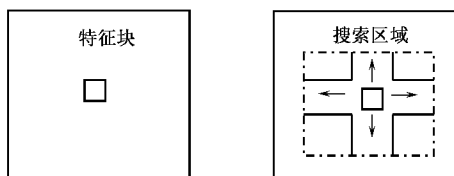


图 2 块匹配搜索示意图

Fig. 2 Block-matching-search sketch map

1.3.1 特征块的选取

由于圆网印花的对花误差要求为毫米级,即印花图案在一个很小的区域内有偏移,所以进行模板搜索时没有必要在整个目标范围内进行搜索,只要在以特征块为中心的上下左右“十”字形条带区域内进行搜索,可以节省大量的运算时间,使系统满足实时性要求。特征块的大小应该适当,过大则会增加数据处理的时间,过小则可能会陷入局部最优,而得不到精确的匹配点。实际选取时可根据图像及切块

的大小按比例选择合适的块长度。

在特征块选择时,需要进行 2 幅图像的配准,进而得到其精确的位置误差关系。在实际应用中的具体做法是:在圆网花回接头处安装零位传感器(它由霍尔开关及整形电路组成),通过它可实现目标图像与模板图像的对准及图像的分页处理。

1.3.2 特征块匹配

块匹配算法一般用在运动估计算法中,由于方法简单有效且易于大规模集成,使其在视频编码中得到广泛应用^[7]。它用在当前帧和前一帧运动矢量的估计中,常用的搜索算法有 ES,疲劳算法(也叫全局搜索算法),三步搜索算法(TSS),四步搜索算法(FSS),新三步搜索算法(NTSS)等,现在又出现了一些改进的算法^[8-9]。它们的原理是:把图像分成二维的一定大小的子块,然后在其相邻帧中相对应的几何位置周围的一定范围内,通过 BMA 匹配准则,寻找这些像素块的最佳匹配,它与当前块的相对位置 (dx, dy) 即是运动矢量(motion vector)。

本文采用的算法思想和上面的思想相同,具体的做法是:对于标准图像的特征点集 P 中的每个特征点 P_i ,以它为中心在其周围选择 $BlockSize \times BlockSize$ 的小区域块作为特征块,在目标图像的坐标点 (x_i, y_i) 的周围选取长度为 $SearchSize$ (大于 $BlockSize$) 的十字形搜索空间做相关匹配寻找最佳匹配点。采用的匹配准则为归一化相关函数(NCCF)^[10]法,即求互相关系数:

$$R(i, j) = \frac{R_{st}}{\sqrt{R_{ss} \cdot R_{tt}}}$$

$$i, j \in (P(i, j) - SearchSize/2, P(i, j) + SearchSize/2)$$

其中:

$$R_{st} = \sum_x \sum_y^{BlockSize \times BlockSize} (T(x, y) - \bar{T}) \times (S(x + i, y + j) - \bar{S}(i, j));$$

$$R_{tt} = \sqrt{\sum_x \sum_y^{BlockSize \times BlockSize} (T(x, y) - \bar{T})^2};$$

$$R_{ss} = \sqrt{\sum_x \sum_y^{BlockSize \times BlockSize} (S(x + i, y + j) - \bar{S}(i, j))^2}.$$

搜索算法采用在“十”字形搜索区域内的全局搜索,因其精度高,且选用的“十”字形搜索区域可以保证匹配效率。

具体步骤如下:1) 计算匹配块自身的 R_{tt} ; 2) 在搜索区域内分别计算 R_{st} 、 R_{ss} ; 3) 进行相关系数比较,其最大绝对值再与设定阈值进行比较,若 $\max(|R(i, j)|) > Threshold$, 则其坐标即为最佳匹配

点坐标,否则匹配失败,一般失配情况发生在出现错花的间隙处。

在实际实用中,可以根据精度的不同选择不同的阈值。

2 算法的实现

图 3 为在线检测部分的程序流程图,其中参数 $SlicedImgNum = 5$, $BlockSize = 16$, $SearchSize = 20$, $Threshold = 0.8$ 。

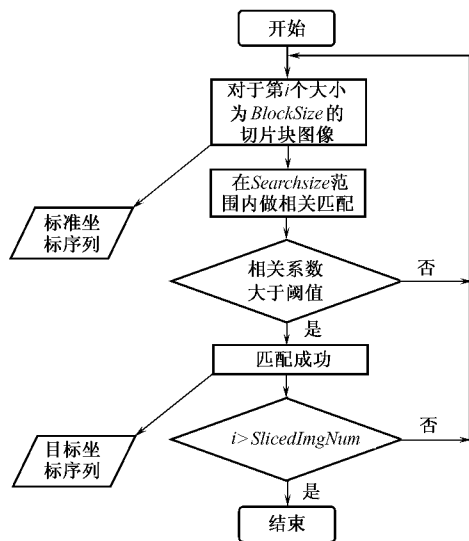


图 3 在线检测部分的程序流程图

Fig.3 Flow chart for on-line inspection part

3 实验结果

在实验室环境下进行实验。选择 NI 公司提供的软件 Labwindows/CVI,它具有操作简便,开发周期短的特点。以下结果都是在 CPU 为赛扬 2.4 GHz,内存为 512 M 的机器上得到的。

模板采用 160 像素 × 160 像素的图像,进行灰度化处理后的标准图像见图 4(a),对模板图像进行阈值分割、形态学膨胀和腐蚀后得到图 4(b),用角点检测算法得到图 4(c)。

在标准图像中选用的角点如图 4(d)所示,在其角点附近切割得到 16 像素 × 16 像素(已放大 2 倍显示)的标准模板块图像如图 5 所示。

为节省篇幅,这里只显示角点 3 和 4 的匹配结果,见图 6。

匹配完成后得到一组切片块图像中心的坐标序列,与原图像的坐标序列对比如表 1 所示。

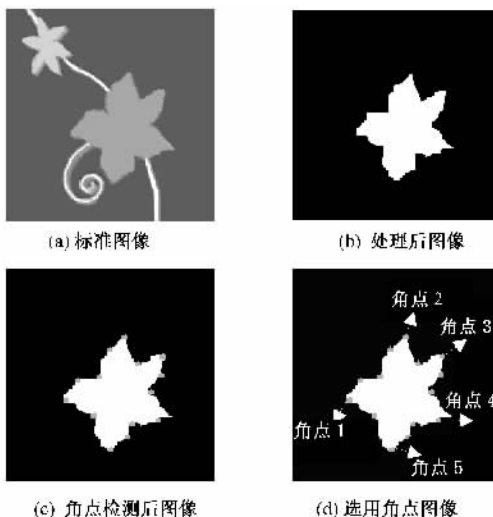


图 4 模板图像

Fig.4 Template image. (a) Standard image; (b) Treated image; (c) Image thread by corner detection; (d) Selected corners image

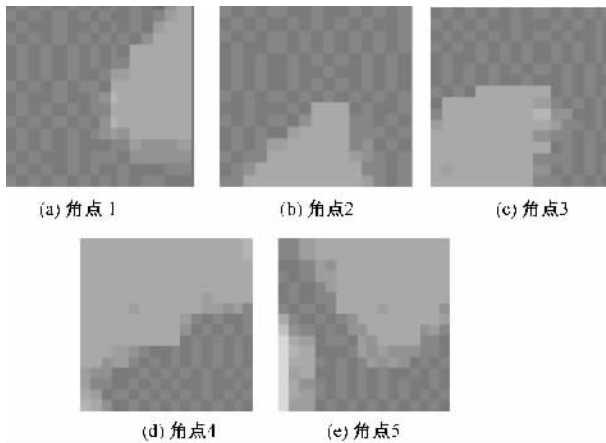


图 5 根据角点得到的切片块图像

Fig.5 Sliced image obtained according to the corners. (a)No.1; (b)No.2; (c)No.3; (d)No.4; (e)No.5

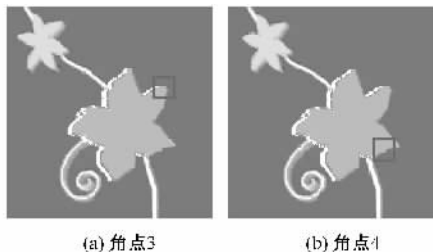


图 6 标准块图像在错花图像上的匹配结果

Fig.6 Standard sliced image matched result in the off-pattern image. (a) Corresponding to the No.3 sliced image; (b) Corresponding to the No.4 sliced image

通过匹配可以得到 2 组点集: $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$,其中 P 代表标准图像的

特征点集, Q 代表目标图像中的匹配点集, 对它们进行处理就可以得出印花图案在 x 方向的位置误差信息。

表 1 标准点与匹配点坐标

Tab.1 Standard points and matched points coordinates

角点中心坐标	标准图像	目标图像
1	(49/93)	(51/93)
2	(93/47)	(95/47)
3	(119/62)	(122/62)
4	(116/109)	(119/109)
5	(80/129)	(85/129)

块匹配算法与传统全局搜索相关算法所用时间比较如表 2 所示。

表 2 2 种匹配方法所用时间比较

Tab.2 Processing time comparison of the two algorithms

角点	所用时间/s	
	全局算法	块匹配算法
1	3.99	0.14
2	3.98	0.15
3	4.01	0.14
4	3.98	0.14
5	4.02	0.16

从表 2 可以看出, 块匹配算法的处理速度比全局算法有很大的提高, 可以用软件的方式实现实时在线检测。然而这个时间要取决于目标图像的大小和所选用的切片匹配块的大小。

4 结 语

本文结合圆网印花特点给出了一种快速匹配算法, 其弥补了基于特征的匹配和基于全局灰度相关算法的不足, 把 2 种算法的优点结合起来, 进而实现印花系统的在线检测。它是一种改进的目标定位算

法, 在离线阶段通过角点提取得到图像的特征点, 以特征点为中心制作标准块图像, 然后通过分块匹配策略进行目标定位, 得到错花图像的位置误差矢量, 从而得到控制系统的输出控制量, 为实现印花过程的闭环控制打下基础。

FZXB

参考文献:

[1] 杨永跃, 邓善熙, 何革群. 应用图像测量技术在线检测印刷套色偏差[J]. 应用科学学报, 2002, 20(4): 423 - 425.

[2] 周志宇, 刘喜昂, 杨东鹤. 机器视觉在蚕茧表面积测量中的应用[J]. 纺织学报, 2006, 27(12): 19 - 21.

[3] 黄朝丽, 仇建喜. 机器视觉技术在圆网印花机自动对花系统中的应用[J]. 纺织科技进展, 2006(3): 48 - 50.

[4] 李鹏飞, 张蕾, 李鹏, 等. 平网印花机对花检测系统图像处理算法的研究[J]. 西安工程科技学院学报, 2006, 20(5): 607 - 610.

[5] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector[C]//Mathews MM. Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference. Manchester: [s. n.], 1988: 147 - 151.

[6] 杨杨, 张田文. 角点检测算法评价方法的研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 1998, 30(2): 7 - 10.

[7] 邹晓春, 冯燕, 赵歆波. 一种块匹配的快速运动估计算法[J]. 中国图像图形学报, 2006, 11(7): 938 - 942.

[8] Nie Yao, Ma Kaikuang. Adaptive rood pattern search for fast block-matching motion estimation[J]. IEEE Trans Image Processing, 2002, 11(12): 1442 - 1448.

[9] Cheung C H, Po L M. A novel cross-diamond search algorithm for fast block motion estimation[J]. IEEE Trans Circuits and Systems For Video Technology, 2002, 12(12): 1168 - 1177.

[10] Tavanai H, Palhang M, Hosseini S A, et al. Detection of color displacement in fabric printing through image analysis[J]. Journal of the Textile Institute, 2006, 97(4): 333 - 339.