

## 基于模板匹配的图像配准算法

高军<sup>1,2</sup>, 李学伟<sup>1</sup>, 张建<sup>2</sup>, 卢秉恒<sup>1</sup>

(1. 西安交通大学机械工程学院, 710049, 西安; 2. 山东理工大学机械工程学院, 255049, 淄博)

**摘要:** 在研究传统图像匹配方法和分色理论的基础上,提出了基于模板匹配的图像配准算法. 在将标准图像和待测图像分别分色的基础上,采用序贯相似性检测算法对各色灰度图像分别进行模板匹配,并根据匹配数据,对图像进行平移、缩放及旋转操作,使两幅图像能够在空间上配准. 实验表明,算法的效率和精度与采集设备的分辨率、模板选取以及匹配区域大小等因素有关,与传统图像配准算法相比,效率和精度分别提高了30%和35%以上,不仅满足了彩色精密印刷品质量检测的要求,而且还可应用于其他图像快速配准的过程中.

**关键词:** 模板匹配; 质量检测; 分色; 图像配准

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-987X(2007)03-0307-05

### Image Registration Algorithm Based on Template Matching

Gao Jun<sup>1,2</sup>, Li Xuewei<sup>1</sup>, Zhang Jian<sup>2</sup>, Lu Bingheng<sup>1</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China; 2. School of Mechanical Engineering Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

**Abstract:** An image registration algorithm based on template matching is presented in view of the conventional methods of image matching and the principle of color separation. According to color separation between standard images and inspected images, the template matching is processed respectively in each pair of separated color images with sequential similarity detection algorithm (SSDA). Then the two images are spatially registered more rapidly and accurately by a series of operations such as reciprocating, zooming and revolving based on template matching data. The experimental results illustrate that the efficiency and accuracy of the image registration algorithm are related to the choice of templates and matching areas and can be improved respectively above 30% and 35% compared with conventional methods to satisfy the requirement of quality inspection of precise printing and to apply to other rapid image registration processes.

**Keywords:** template matching; quality inspection; color separation; image registration

在机器识别的过程中,常需要把不同传感器或同一传感器在不同时间、不同成像条件下对同一景物获取的2幅或多幅图像在空间上对准,或根据已知模式到另一幅图中寻找相应的模式,这就叫做匹配. 在印刷品质量检测系统中,同一系统在不同时刻采集的图像,理论上应该是相同的,但由于定位精度和机械振动等因素的影响,致使2幅图像存在着少量的偏移,为将同一个CCD摄像机采集的标准图像和待测图像进行比较,就必须将2幅图像在空间上

对准,因此图像配准就成为图像印刷品质量检测系统的关键问题. 传统的利用印刷品的边缘进行定位和配准的方法<sup>[1]</sup>,在采集过程中会遗失很多图像细节信息,而且印刷品边界的理想程度,也会直接影响到图像的配准精度.

由此可见,能够保证整个印刷品质量检测系统在线有效运行的前提条件,是找到一种高精度和高效率的图像配准算法. 本文在将标准图像和待测图像分别分色的基础上,采用基于模板匹配的方法进

行2幅图像的配准,此方法不受所选采集图像的区域限制,不需对整幅图像进行采集,可以有效地利用图像中的信息进行匹配定位<sup>[2-3]</sup>。

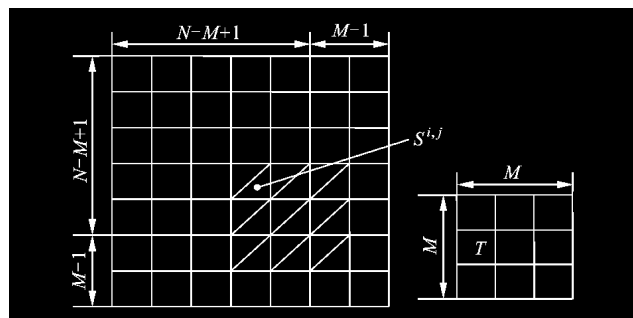
## 1 模板匹配

采用基于模板匹配的图像配准算法不受所选采集图像的区域限制,不需对整幅图像进行采集,可以有效地利用图像中的信息进行匹配定位。

如图1所示,设模板 $T$ 叠放在搜索图 $S$ 上平移,被模板覆盖的搜索图像叫做子图, $S^{i,j}$ 为这块子图的左上角像点在 $S$ 图中的坐标,称为参考点。比较 $T$ 和 $S^{i,j}$ ,若两者一致,则 $T$ 和 $S^{i,j}$ 之差为0,所以可以用下列相关函数来衡量 $T$ 和 $S^{i,j}$ 的相似程度<sup>[4]</sup>,即

$$R(i,j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M S^{i,j}(m,n) T(m,n)}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M [S^{i,j}(m,n)]^2} \quad (1)$$

从图1中可看出, $i$ 和 $j$ 的取值范围为 $1 < i < N-M+1, 1 < j < N-M+1$ 。采用相关法来求匹配的计算量很大,因为模板要在 $(N-M+1)$ 个参考位置上做相似性计算,除移动点以外都是在非匹配点上做无用功,所以引入了一种快速计算方法——序贯相似性检测算法<sup>[5]</sup>(SSDA)。



(a)  $S(N \times N)$  (b)  $T(M \times M)$   
图1 模板匹配示意图

## 2 基于模板匹配的图像配准算法

本文将建立在图像分色基础上的模板匹配图像配准方法,应用于印刷品质量检测过程中的配准定位,图2为该算法的流程图。在将标准图像和待测图像分别分色、降噪<sup>[6]</sup>的基础上,对各色灰度图像分别进行模板匹配。根据匹配数据,对图像进行平移、缩放及旋转操作,使2幅图像在空间上配准。最后,对2幅图像的灰度数据进行比较,得出2幅图像的大

小、偏角和灰度等差别。

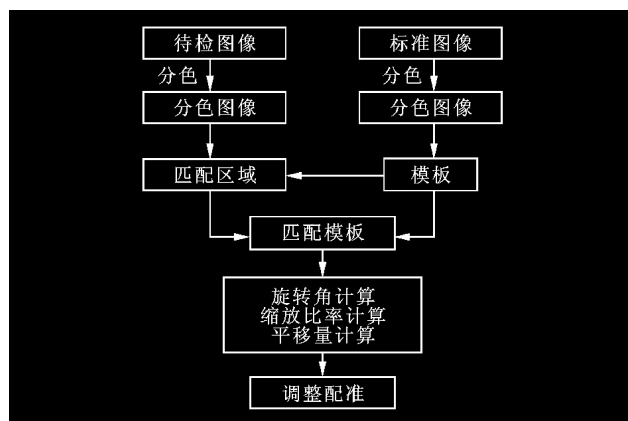


图2 图像配准流程图

### 2.1 分色理论及其在印刷品质量检测中的应用

彩色图像印刷使用分色后,获得离散网点的各色版(青、品红、黄、黑),经过套印后再现出丰富多彩的颜色。通常,人们在对印刷品质量进行检测时,是通过最终对彩色印刷品进行直接测量的方式进行的<sup>[7]</sup>。由于彩色印刷品是依次通过不同色版套印而成,色版与色版之间存在着印刷套准问题,因此每一个色版都可能发生杠子、色斑等现象。为了明确检测到印刷品印刷质量的影响因素,必须对不同色版产生的不同色彩数据进行分别处理,得出质量数据后,再针对不同的色版印刷进行纠偏调整。因此,本文将印刷品的分色技术引入到彩色印刷品的质量检测中,即将标准图像和待测图像分别分色后,对各色灰度图像分别进行模板匹配。

### 2.2 配准操作中图像间旋转角的获取

如图3所示,首先在标准图像上选取2个模板,并记下2个模板的中心坐标值,因为待测图像是经过机械定位后,再与标准图像在基本相同的条件下进行采集的,所以可以根据标准图像中的模板坐标值,分别加减一定的数值作为搜索区间,由对应的模板在此图像上进行匹配,以减少不必要的匹配计算。由于待测图像在采集过程中存在一定偏角或缩放,在模板匹配过程中不能完全匹配,而是采用SSDA算法进行相似度计算,因此选取待测图像中与模板相似度最大的部分作为匹配区域。一般所取模板是矩形或正方形,根据模板4个角点处的灰度和2个方向上的灰度梯度等特征,可以在待测图像中迅速得到模板4个角点的匹配点,即得到该模板的匹配区域。

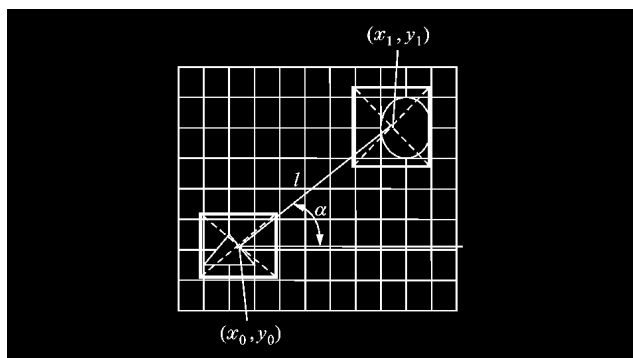
由图3可以得出,微小缩放误差的存在并不影响旋转角度的大小,因此有

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= (y_1 - y_0) / (x_1 - x_0) \\ \alpha &= \arctg[(y_1 - y_0) / (x_1 - x_0)] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

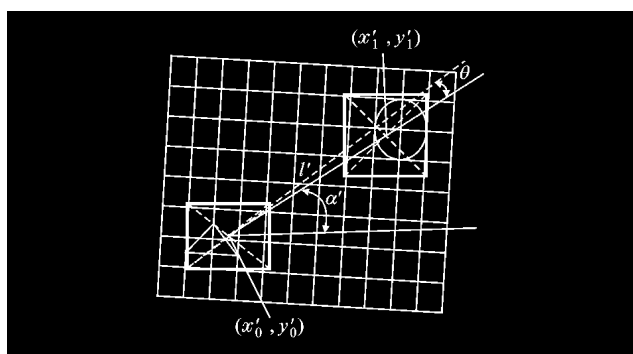
$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha' &= (y'_1 - y'_0) / (x'_1 - x'_0) \\ \alpha' &= \arctg[(y'_1 - y'_0) / (x'_1 - x'_0)] \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

则旋转角

$$\theta = \alpha' - \alpha = \arctg[(y'_1 - y'_0) / (x'_1 - x'_0)] - \arctg[(y_1 - y_0) / (x_1 - x_0)] \quad (\text{取逆时针为正}) \quad (4)$$



(a) 标准图像及模板选择



(b) 待测图像上的模板匹配

$l$ : 标准图像两点的距离;  $l'$ : 待测图像上对应于标准图像的两点距离。

图3 图像匹配定位示意图

### 2.3 配准操作中图像间缩放比率的获取

由于在 CCD 对图像的采集过程中,产生的纵横缩放比率是相同的,因此可以采用图像上两点的距离比率来替代 2 幅图像的纵横缩放比率.由图 3 可知,缩放比率

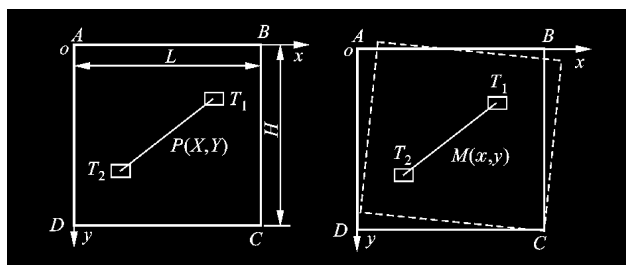
$$f = \frac{l'}{l} = \frac{[(y_1 - y_0)^2 + (x_1 - x_0)^2]^{1/2}}{[(y'_1 - y'_0)^2 + (x'_1 - x'_0)^2]^{1/2}} \quad (5)$$

如果  $0 < f < 1$ , 则待测图像比原图像缩小, 若  $f > 1$ , 则待测图像比标准图像在任意方向上放大了  $f$  倍。

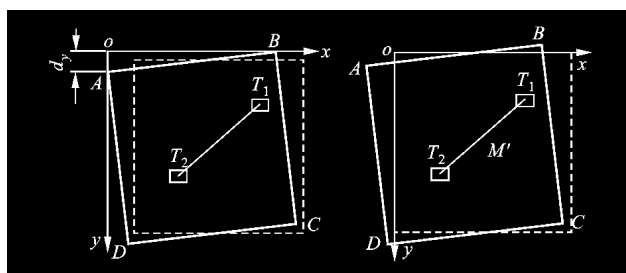
### 2.4 配准操作中图像间平移量的获取

图 4a 为标准图像在 ABCD 区域及标准图像上的 2 个模板, 其中 4 个顶点坐标分别为  $(x_A, y_A)$ 、

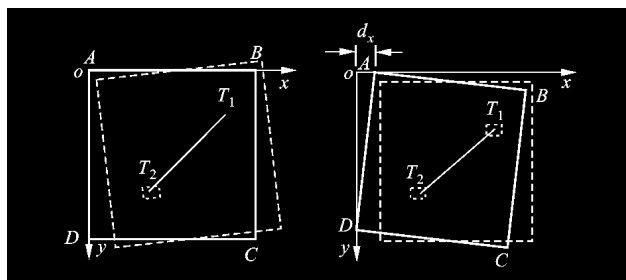
$(x_B, y_B)$ 、 $(x_C, y_C)$ 、 $(x_D, y_D)$ , 2 个模板的中心坐标分别为  $(X_1, Y_1)$ 、 $(X_2, Y_2)$ , 匹配区域中心坐标分别为  $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$ . 图 4b 中的虚线部分为采集图像与标准图像相对应的区域, 与标准图像相比存在一定的偏角, 实线部分为采集的待测图像区域及模板  $T_1$ 、 $T_2$  在待测图像上的匹配结果, 并由此获得匹配后 2 个模板的中心坐标. 通过式(4)先计算得到待测图像和标准图像的相对偏角, 再对待测图像进行旋转操作. 在通常情况下, 旋转操作可以采用图形学中的经典公式进行, 但是为了更快更准确地得到待测图像旋转后, 图像与标准图像对应像素之间的平移量, 并对其进行平移, 本文将旋转操作算法进行了简化, 其基本算法如下。



(a) 标准图像及模板 (b) 采集的右偏待测图像



(c) 旋转后的新图像 (d) 平移后的配准结果



(e) 采集的左偏待测图像 (f) 顺时针旋转配准示意图

A、B、C、D: 分别为标准图像区域的顶点; L: 图像的长;

H: 图像的高;  $T_1$ 、 $T_2$ : 标准图像上的模板; —: 采集区域; ---: 对应的标准图像区域

图4 图像旋转平移示意图

若将待测图像顺时针旋转  $\theta$  角度, 可看作将图像以原点为圆心顺时针旋转  $\theta$  角, 然后向右平移距离  $d_x = H \sin \theta$ . 同理, 若将待测图像逆时针旋转  $\theta$  角度, 可看作将图像以原点为圆心逆时针旋转  $\theta$  角, 然

后向下平移距离  $d_y = L \sin \theta$ , 如图 4c 和图 4f 所示. 该算法与原算法在结果上是等价的, 但却更加简便、快捷.

为了减小平移量的计算误差, 选取两匹配区域中心连线的中点为对象点, 计算待测图像与标准图像对应点间的平移量. 设标准图像中两匹配区域中心连线的中点为  $P(X, Y)$ , 待测图像的对应点为  $M(x, y)$ , 其中  $X = (X_1 + X_2)/2$ ,  $Y = (Y_1 + Y_2)/2$ ,  $x = (x_1 + x_2)/2$ ,  $y = (y_1 + y_2)/2$ .

以逆时针旋转为例, 待测图旋转前  $OM$  的倾角为  $\gamma = \arctg(y/x)$ , 以原点为圆心对图像进行旋转后,  $OM'$  的倾角为  $\gamma - \theta$ ,  $M$  点旋转并重新调整后的坐标为  $M'(x', y')$ , 其中

$$x' = (x^2 + y^2)^{1/2} \cos(\gamma - \theta)$$

$$y' = (x^2 + y^2)^{1/2} \sin(\gamma - \theta) + d_y$$

经过逆时针旋转操作并调整以后, 待测图像与标准图像所对应像素之间的平移量为

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= (x^2 + y^2)^{1/2} \cos(\gamma - \theta) - X \\ \Delta y &= (x^2 + y^2)^{1/2} \sin(\gamma - \theta) + L \sin \theta - Y \end{aligned} \right\} (6)$$

同理, 将待测图像顺时针旋转并调整后, 待测图像与标准图像对应像素间的平移量为

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= (x^2 + y^2)^{1/2} \cos(\gamma + \theta) + H \sin \theta - X \\ \Delta y &= (x^2 + y^2)^{1/2} \sin(\gamma + \theta) - Y \end{aligned} \right\} (7)$$

模板匹配的主要目的是以标准图像为基准, 针对不同色版的灰度图像来获得待测图像的旋转角、缩放比率和平移量, 从而进行旋转、缩放、平移等操作<sup>[8-9]</sup>, 达到与标准图像的空间配准, 为待测图像和标准图像各色版数据的处理和比较做准备.

### 3 实验设计及结果分析

实验系统由 CCD 摄像头、数据采集卡、驱动程序和电脑等组成, 如图 5 所示. 实验所用 MTC-63V1-



图5 实验系统构成图

EXCCD 摄像机是由台湾敏通股份有限公司生产的, 图像采集卡选用北京嘉恒中自图像技术有限公司的 OK\_MC30, 所用软件主要包括 Windows XP、Visual C++ 6.0、Photoshop 7.0、MATLAB 6.5 和 Ok Demo 4.85 等.

实验步骤为: ①通过 CCD 摄像头和图像采集卡, 将标准图像和待测图像采集到计算机并存储; ②对采集的图像进行降噪和分色处理; ③用模板匹配技术实现待测图像和标准图像的配准; ④图像比较与质量检测.

#### 3.1 旋转图像的匹配实验

从标准图像上选取 2 个 30 像素  $\times$  30 像素的矩形窗口作为  $T_1$ 、 $T_2$ , 匹配过程如图 4 所示. 对不同旋转角的待测图像进行配准, 根据式(4)计算得到的实验结果见表 1. 表 1 中的实测旋转角度为通过图像匹配得到的测量值,  $\Delta\theta$  为旋转角测量值与真实值的差, 由于受采集摄像机分辨率的限制, 当旋转角增大时, 所得结果的误差会略有增加, 可以通过二次旋转达到更高精度的角度配准.

表1 有一定转角的图像匹配定位结果

| 旋转角度<br>/ $^\circ$ | 中心坐标     |            | 实测旋转角度<br>/ $^\circ$ | $\Delta\theta$<br>/ $^\circ$ |
|--------------------|----------|------------|----------------------|------------------------------|
|                    | $T_1$    | $T_2$      |                      |                              |
| 0.5                | (69, 75) | (634, 131) | 0.502 533            | 0.002 533                    |
| 1.0                | (74, 75) | (638, 136) | 1.015 035            | 0.015 035                    |
| 1.5                | (78, 76) | (642, 142) | 1.516 615            | 0.016 615                    |
| 2.0                | (82, 77) | (646, 147) | 1.917 449            | 0.082 551                    |
| 2.5                | (87, 77) | (649, 153) | 2.543 610            | 0.043 610                    |

#### 3.2 缩放图像的匹配实验

从标准图像上选取 2 个矩形窗口作为模板  $T_1$ 、 $T_2$ , 对不同缩放比率的待检测图像进行匹配实验, 根据式(5)计算得到的实验结果见表 2.

表2 有一定缩放比率的图像匹配定位结果

| $f/\%$ | 中心坐标      |            | 实测比率<br>/ $\%$ | $\Delta f$  |
|--------|-----------|------------|----------------|-------------|
|        | $T_1$     | $T_2$      |                |             |
| 95     | (47, 372) | (612, 123) | 94.912 08      | 0.000 879 2 |
| 98     | (48, 384) | (631, 126) | 98.002 11      | 0.000 021 1 |
| 99     | (48, 388) | (637, 128) | 98.969 99      | 0.000 300 1 |
| 101    | (49, 396) | (651, 130) | 101.170 62     | 0.001 706 2 |
| 103    | (50, 404) | (663, 133) | 103.027 92     | 0.000 279 2 |
| 105    | (51, 412) | (676, 135) | 105.088 02     | 0.000 880 2 |

## 4 结束语

本文将基于模板匹配的图像配准方法应用于印刷品质量检测过程中的配准定位,在将标准图像和待测图像分别分色的基础上,对各色灰度图像分别进行模板匹配,根据匹配数据,对图像进行平移、缩放及旋转操作,使2幅图像在空间上配准,并得到较为理想的配准精度.由于算法的效率较高,因此为后续待测图像和标准图像的比较打下了较好的基础.

### 参考文献:

- [1] 王世允. 印刷图像质量直接检测——被测图像定位与网点识别方法的研究[D]. 西安:西安理工大学印刷包装学院,2002.
- [2] 李学伟. 基于图像处理和识别技术的彩色印品质量检测系统的研究[D]. 淄博:山东理工大学机械工程学院,2006.
- [3] 何斌. Visual C++图像处理[M]. 北京:人民邮电出版社,2002:491-508.
- [4] 王红梅,张科,李言俊. 图像匹配研究进展[J]. 计算机工程与应用,2004,19(12):42-44.
- [5] 高富强. 一种快速彩色图像匹配算法[J]. 计算机应用,2005,25(11):2604-2605.
- [6] Ataman E, Aatre V K, Wong K M. A fast method for real-time median filtering[J]. IEEE Transactions on Acoustics Speech and Signal Processing, 1980,28(4):415-421.
- [7] Luo J, Zhang Z. Automatic color printing inspection by image processing [J]. Journal of Materials Processing Technology, 2003, 139: 373-378.
- [8] Castleman K R. Digital image processing [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1998:492-495.
- [9] Tanimizu K, Meguro A, Ishii A. High speed defect detection method for color printed matter [C] // Proceedings of Industrial Electronics Conference. Los Angeles, USA: IEEE, 1990:653-658.

(编辑 管咏梅)