# 加权相位一致性改进的图动态精确配准算法

占俊 (景德镇学院,景德镇 333000)

**摘要:目的** 为了解决当前图像配准算法匹配精度较低的问题。方法 提出加权相位一致性耦合改进 的图变换匹配的精准动态图像配准算法。首先,基于SIFT机制,检测图像中的关键点;并嵌入加权因 子,定义相位一致性特征,对关键点完成提纯,消除误配点与稳定性不佳的特征点;随后,设计角度距 离,替代相邻特征,改进图变换匹配技术,形成精准匹配关系集;再利用初始匹配特征点与精准匹配特 征点间的映射关系,对其完成修正;最后,利用改进的图变换匹配算法处理修正后的匹配关系,进一步 提高匹配精度。结果 仿真结果显示,与当前图像配准技术相比,改进的算法拥有更强的鲁棒性与更 高的匹配精度。结论 改进的算法能够提高图像在几何变换程度较大时的匹配精度。 关键词:图像配准;图变换匹配;相位一致性;SIFT机制;匹配关系 中图分类号:TP391 文献标识码:A 文章编号:1001-3563(2016)09-0108-06

# Precise Dynamic Image Registration Algorithm Based on Weighted Phase Coherence Coupled Modified Image Transformation Matching

#### ZHAN Jun

(Jingdezhen University, Jingdezhen 333000, China)

**ABSTRACT**: In order to solve the defects such as low matching accuracy induced by lots of wrong matching when facing the big geometric transformation in current image registration algorithm, the precise dynamic image registration algorithm based on weighted phase coherence coupled modified image transformation matching was proposed in this paper. Firstly, the key points of image were detected by SIFT mechanism, then the weighted factor was embedded to define the phase consistency for purification of the key points to eliminate the wrong features as well as instable features points. The angular distance was designed to substitute the neighbor features for improving the image transformation matching technology. Then the mapping relationship between initial matching feature points and accuracy matching feature points was used to correct the initial matching. Finally, the corrected matching relationship was treated by the improved image transformation matching accuracy. In conclusion, the improved algorithm could enhance the matching accuracy of images at relatively large geometric transformation degree.

**KEY WORDS**: image registration; image transformation matching; phase consistency; SIFT mechanism; matching relationship

图像配准是当前图像处理技术中的研究热点,目前已成熟用于目标定位和图像伪造检测等方面。图像 配准是将不同时间、不同成像设备或不同成像状况下 所采集的两幅或多幅图像进行匹配、叠加的过程<sup>[1–3]</sup>。 当前图像配准算法主要集中为2块,即利用区域匹配 以及图像特征匹配<sup>44</sup>。杜杰等人<sup>15</sup>为了解决配准与效率 问题,设计了基于仿射不变闭合区域和SURF的图像 匹配算法,通过灰度直方图均衡化、仿射变换以及

收稿日期: 2015-08-26

作者简介:占俊(1984—),男,江西景德镇人,硕士,景德镇学院讲师,主要研究方向为目标检测识别、计算机辅助制造和图像处理。

SURF检测,完成图像特征点匹配,实验结果显示其算 法具有较高的匹配精度与效率。Hu等人<sup>®</sup>为了降低图 像匹配的伪效应,提出了基于置信区域的最近邻插值 算法,并将其用于图像匹配,测试结果显示其算法能 够改善图像配准的精度,降低误配。基于区域的图像 配准技术的鲁棒性较差,且时耗严重,而基于特征的 图像配准算法具有计算量小、鲁棒性强等优点,被诸 多研究人员所提倡<sup>[7]</sup>。Ghassabi等人<sup>18</sup>对彩色图像完成 匹配,提出了基于UR-SIFT特征与PIIFD描述符的图 像配准算法,利用UR-SIFT特征提取图像稳定特征 点,借助PIIFD描述符完成匹配,实验数据表明该算法 能够显著改善图像的匹配精度。金斌等人针对 SAR 图像配准中匹配效率低、误匹配对多和配准精度差的 问题,提出一种基于局部不变特征的SAR图像,利用 加速分割检测特征算法与DAISY 描述子,形成SAR图 像不变特征,最后利用KD树与RANSAC策略,实现图 像精准匹配,仿真结果显示其算法具有良好的匹配精 度。上述配准算法难以处理几何变换程度较大时的 特征点匹配,对特征点的局部特性较为敏感。

为了解决上述不足,这里提出加权相位一致性耦 合改进的图变换匹配的精准动态图像配准算法。利用 SIFT机制与加权相位一致性,完成图像特征点提纯,消 除误配点与稳定性不佳的特征点。基于文献[7]的思 想,设计角度距离,替代相邻特征,改进图变换匹配技 术,形成精准匹配关系集。对初始匹配特征点与精准 匹配特征点间的映射关系进行修正,对特征配准完成 优化。最后,测试文中算法的匹配精度与效率。

# 1 传统的图变换匹配算法

图变换匹配是假设2个尺寸为N的图像 $P={p_i}$ 与  $P'={p'_i}$ 为一组匹配集,其中 $p'_i$ 与 $p_i$ 是匹配的。通过如 下定义,形成中值k邻近图 $G_p=(V_p, E_p)$ 。其中, $V_p, E_p$ 代 表中值k邻近图中的元素

对于每个匹配点 $p_i$ ,定义一个点 $V_i$ ,使得 $V_p=\{v_1, v_2, v_3, \dots, v_N\}$ 。当 $p_j \neq p_i$ 中最邻近匹配点之一时,则会存在非定向边缘(i,j),且 $\|p_i-p_j\| \leq \eta$ ,其中 $\eta$ 为误差因子。 $\eta$ 计算模型为:

$$\eta = \operatorname{median}_{(1,m) \in V \times V} \| p_1 - p_m \|$$
(1)

根据上述条件,需强加2个约束:1个特征点只验 证其最邻近结构;去除引起结构变形的滤波机制。对 于2个匹配集,会生成2个邻近图K-NN: $G_{p}, G'_{p} \circ G_{p}$ 拥有一个 $N \times N$ 邻接矩阵 $A_{p} \circ \exists (i,j) \in E_{p}$ 时, $A_{p}(i,j) =$  1,反之,则为0。当所有的点匹配是正确的,则 $G_{p},G'_{p}$ 为同构。在实际匹配中,并非所有的点匹配都是精确的, $G_{p},G'_{p}$ 会存在结构误差。

在匹配集中,通过计算邻接矩阵A<sub>p</sub>,根据近似结构差异选择一个离群j<sup>out</sup>,j<sup>out</sup>满足如下条件:

$$j^{\text{out}} = \operatorname*{arg\,max}_{j=1,2,\cdots,N} \sum_{i=1}^{N} \boldsymbol{R}(i,j)$$
(2)

$$\boldsymbol{R} = |\boldsymbol{A}_{p} - \boldsymbol{A}_{p}'|$$
(3)

式中:**R**代表残差矩阵。

确定离群后,该离群及其匹配点会被删除。重新 生成 K-NN 图,并继续下一轮迭代,当残差矩阵 **R**(*i*, *j*)=0时,迭代终止。

条件迭代需强加2个约束:(1)由于2个K-NN图  $G_{p}, G'_{p}$ 是非定向的,因此 $A_{p}, A'_{p}$ 是对称的;(2)任何一 个小于K邻近的匹配点都会在迭代期间被删除。

可见,ITM技术主要有两个假设:若匹配点是正确 的,则G<sub>p</sub>,G<sub>p</sub>为同构;在图像之间的变化是适合平滑 的。第一个假设在某些矛盾状态下是正确的,如2个 错误匹配点有相同的领域。IMT技术匹配结果见图 1,其中1个匹配点是离群,但是2个K-NN图仍然为同 构,表示技术无法完全消除这些离群点。另外,若匹 配图像间的变换不是平滑,且输入图像因变形而产生 失真时,会导致2个K-NN图不相同。可见,传统的 IMT技术主要与初始匹配状态紧密相关,使其忽略了 图像特征点的全局信息。这里设计角度距离,替代相 邻特征,改进图变换匹配技术,形成精准匹配关系集。

# 2 图像配准算法设计

为了提高配准精度与效率,这里利用SIFT机制与 改进的图变换匹配技术,提出了高鲁棒性配准算法, 其过程见图2。该算法主要分为以下3点:基于SIFT 机制与加权相位一致性的图像关键点的检测与提纯; 基于改进的图变换匹配技术的特征点配准;匹配映射 关系的修正。

#### 2.1 基于SIFT机制的特征点检测

令图像I(x,y)尺寸为 $M \times N$ ,依据高斯函数 $G(x, y, \sigma)$ ,可生成其尺度空间 $L(x, y, \sigma)$ :

$$L(x,y,\sigma) = G(x,y,\sigma) \times I(x,y) = \left[\frac{1}{2\pi\sigma^{2}}e^{-(x^{2}+y^{2})}/2\sigma^{2}\right] \times I(x,y)$$
(4)  
式中:  $\sigma$ 代表尺度空间因子。



b **阿构** 

图1 IMT技术匹配结果

Fig.1 Matching results of IMT technology





再依据式(4),结合高斯差分尺度空间 DOG 检测<sup>18</sup>,获取该尺度空间上的关键点,见图 3。图像 DOG 局部极值点检测见图 4,其 DOG 检测结果见图 4b。 DOG模型如下:

$$D(x,y,\sigma) = L(x,y,k\sigma) - L(x,y,\sigma)$$
(5)

式中: $D(x,y,\sigma)$ 代表高斯差分图像; $L(x,y,k\sigma)$ 和 $L(x,y,\sigma)$ 代表相邻的2幅尺度图像; $\sigma$ 代表尺度坐标;(x,y)代表图像的空间坐标。

DOG 检测对噪声较为敏感,为改善其鲁棒性,使 特征点的稳定性较佳,对式(5)在(x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>, σ)处完成 Taylor展开,获取关键点与尺度坐标的准确值:

$$D(x,y,\sigma) = D + \frac{\delta D^{\mathrm{T}}}{\delta(x,y,\sigma)} +$$



图 3 极值点检测 Fig.3 Detection of DOG extreme point



图4 图像DOG局部极值点检测

Fig.4 Detection of DOG Local extreme point in image

$$\frac{1}{2}x^{\mathrm{T}}\frac{\delta^{2}D}{\delta(x,y,\sigma)^{2}}(x,y,\sigma)$$
(6)  
再令式(6)为零,即  

$$D + \frac{\delta D^{\mathrm{T}}}{\delta(x,y,\sigma)} + \frac{1}{2}x^{\mathrm{T}}\frac{\delta^{2}D}{\delta(x,y,\sigma)^{2}}(x,y,\sigma) = 0$$
(7)

式中:D代表DOG算子; $\delta$ 代表求导;D<sup>T</sup>代表D的转置。

求解式(7),生成关键点的准确坐标。 随后,依据如下模型,定位图像关键点方向: m(x,y)=

$$\sqrt{[L(x+1,y)-L(x-1,y)]^2 + [L(x,y+1)-L(x,y)]^2}$$
(8)

$$\theta(x,y) = \arctan[L(x,y+1) - L(x,y-1)]/$$

$$[L(x+1,y)-L(x-1,y)]$$
(9)

式中:m(x,y)代表关键点的梯度值; $\theta(x,y)$ 为关 键点的梯度值。

最后,依据文献[8]提供的特征描述符,生成图像 关键点向量,见图5。

### 2.2 基于加权相位一致性的匹配提纯

由于SIFT匹配存在较多的误配<sup>19</sup>,为了消除这些





误差配点,进一步优化配准精度,这里引入加权因子, 定义相位一致性特征。

依据Kovesi与Morrone<sup>101</sup>等人的观点,相位一致性 信息能够很好地处理因几何变换程度较大时存在的 误配问题,不受灰度信息的影响。其计算模型为:

$$PC(x) = \frac{\mid E(x) \mid}{\sum A_n(x)}$$
(10)

式中:PC(x)代表相位一致性值; $A_n(x)$ 为图像 Fourier成分在x位置的振幅;|E(x)|代表局部能量。为 了提高模型(10)的自适应性,引入加权因子,生成加 权相位一致性特征:

$$PC_{2}(x) = \frac{\sum_{n} W(x) [A_{n}(x) \Delta \varphi(x) - T]}{\sum A_{n}(x) + \varepsilon}$$
(11)

 $\Delta \varphi(x) = \cos[\varphi_n(x)] - |\sin[\varphi_n(x) - \overline{\varphi}(x)]| \quad (12)$ 

式中:W(x)为加权因子; $\Delta \varphi(x)$ 代表相位偏差;T为噪声能量; $\varepsilon$ 代表振幅控制因子,是常量;式(11)中的[]代表取正值。

依据模型(11)可知,*PC*₂(*x*)∈[0,1]为无量纲,其 值大小代表了图像从无特征到显著特征的变化。

再结合文献[9],利用图像特征强度来建立加权相位一致性特征图像IF:

$$IF = \frac{1}{2} \left[ \sum \left( PC_2(\theta) \sin \theta^2 \right) + \sum \left( PC_2(\theta) \cos \theta^2 + \sum \left( PC_2(\theta) \cos \theta^2 \right) - \sum \left( PC_2(\theta) \sin \theta^2 \right) \right]$$
(13)

依据模型(13),能够最大程度地消除图像中的误 配点与不稳定性关键点。当SIFT检测到的关键点为 污染点或不稳定特征点时,其IF值较弱,则根据用户 设置的门槛值(0.01~0.1),将其删除。

# 2.3 关键点配准

对于每个匹配点,这里定义点V<sub>i</sub>,使得V<sub>p</sub>={v<sub>1</sub>,v<sub>2</sub>,

 $v_3, \dots, v_N$ 。当 $p_i \neq p_i$ 中最邻近之一时,则会存在定向 边缘(i,j),且  $\| p_i - p_j \| \leq \eta$ ,其中 $\eta$ 为误差因子。 $\eta$ 计算模型为:

$$\eta = \operatorname{median}_{(1 m) \in V \times V} \| p_1 - p_m \|$$
(14)

由于模型(14)依赖于定向边缘,因此所形成的是 定向图(模型(1)为非定向),使得矩阵 $A_{p}, A'_{p}$ 为非对称,即在所形成的2个K-NN图 $G_{p}, G'_{p}$ 中,点 $v_{i}$ 视为点 $v_{i}$ 中K个最邻近中的一个,且任何一个小于K邻近的匹配点都不会在迭代期间删除。

随后,在 $G_p$ 中找出只含有一条边缘的特征点 { $v_i \sum \nabla j, (i,j) \in E_p, E_p(i,j) \leq 1$ },并将这些点移除,重 新计算 $G_p, G'_p$ 。再重复这些操作,直到 $G_p$ 中所有的点 都至少含有2条边缘。对于每个点 $p_i$ ,利用 $G_p$ 图生成 权重矩阵W。对于点 $v_i = v_m$ ,其权重计算模型为:

$$W(i,m) = \left| \operatorname{Acos}\left(\frac{(p_{m} - p_{i})[(p_{m}^{'} - p_{i}^{'})\operatorname{Rot}(\theta(k_{\min}, i))]}{\|p_{m} - p_{i}\| \|p_{m}^{'} - p_{i}^{'}\|} \right) \right|$$
(15)

$$\operatorname{Rot}(\theta(k_{\min},i)) = \begin{bmatrix} \cos(\theta(k_{\min},i)) & \sin(\theta(k_{\min},i)) \\ -\sin(\theta(k_{\min},i)) & \cos(\theta(k_{\min},i)) \end{bmatrix}$$
(16)

$$k_{\min} = \arg \min_{\nabla k(i,k) \in E_{r} \nabla j, (i,j) \in E_{r}} \sum_{\substack{(i,j) \in E_{r} \\ | A \cos \frac{| p_{j} - p_{i} | [(p_{j}^{'} - p_{i}^{'}) \operatorname{Rot}(\theta(k,i))]}{|| p_{j} - p_{i} || || p_{j}^{'} - p_{i}^{'} ||}$$
(17)  
$$\theta(k,i) = \operatorname{Atan}_{-\pi,\pi}(p_{k} - p_{i}) - \operatorname{Atan}_{-\pi,\pi}(p_{k}^{'} - p_{i}^{'})$$

$$A \tan_{-\pi,\pi}(v) = \begin{cases} A \tan(v_{y}/v_{x}) & v_{x} \ge 0\\ A \tan(v_{y}/v_{x}) + \pi & v_{y} \ge 0, v_{x} < 0\\ A \tan(v_{y}/v_{x}) - \pi & v_{y} < 0, v_{x} < 0 \end{cases}$$
(19)

式中: $k_{\min}$ 代表匹配点之间的最优旋转角度; $p_i$ 与  $p_m$ 分别代表图像坐标中顶点 $v_i, v_m$ 的2D矢量;Acos为 可逆余弦函数。 $p'_i$ 与 $p'_m$ 分别代表旋转图像坐标中顶 点 $v_i, v_m$ 的2D矢量;Atan为可逆正切函数; $\theta$ 代表旋转 角度。

对于每个点 $v_i$ ,找到点 $v_i$ 与 $v'_i$ 的边缘连接比例,若比例低于50%,则权重矩阵中所有不同边缘的权重值用 $\pi$ 表示:

如果 
$$\frac{\sum_{\forall k(i,k) \in E_{p}} A_{p}(i,k)}{\sum_{\forall k(i,k) \in E_{p}} A_{p}(i,k)} < 0.5$$
,  $W(i,j) = \pi$  (20)

式中:(*i*,*j*)代表图像特征点的位置。

对于*G*<sub>p</sub>中的每个点*v<sub>i</sub>*,其相连边缘的所有权重均 值为:

$$W(i) = \underset{\forall j, (i,j) \in E_{p}}{\operatorname{argmax}} \sum_{i=1}^{N} W(i,j)$$
(21)

最后,找出W(Wmax)的最大元素:

$$W_{\max} = \max_{\nabla j, (i,j)} W(i,j) \tag{22}$$

为了算法的理想性,设置算法终止条件:当 $W_{max} < \pi$ ,且 $|u_{new}-u_{old}| < \lambda$ ;否则, $u_{new}=u_{old}$ ,继续下一轮迭代。 其中 $u_{new}, u_{old}$ 分别代表更新、当前的图像特征点的加权 值。

#### 2.4 初始匹配关系的修正

令得到的精准匹配关系为 $f_e$ ;则依据 $f_e$ 的子集来估 算 $G_p, G'_p$ 。再计算p'中所有点 $p_i$ 的内容特征矢量F与 几何征矢量F:

 $F_i = \begin{bmatrix} F_i^{s} & F_i^{g} \end{bmatrix}$ (23)

其中, $F_i^s$ 代表 $p_i$ 的特征; $F_i^s$ 为 $p_i$ 到 $G_p$ 所有特征点的角度距离。

 $F_{i}^{g} = [k(p_{i}, q_{1}), k(p_{i}, q_{2}), \cdots, k(p_{i}, q_{M})], (M = |G_{p}|)$ (24)

依据上述模型,重新匹配*p*和*p*中的特征点,形成修正配准关系。具体的匹配过程见文献[7]。

#### 2.5 配准优化

再次利用改进的图变换匹配算法处理修正后的 匹配关系,完成配准优化。

# 3 仿真结果与分析

依赖软件测试文中配准算法的性能。为了反映 出改进算法的优异性,将当前匹配精度较高的配准算 法视为对照组,文献[11]与文献[12]视为对比组,分别 标记为A和B算法。实验验证环境为:DELL,2.5 GHz 双核CPU,4 GB内存的Windows Xp私人电脑。实验参 数为:*k*=5, ε=0.25。为了量化这些算法性能,引入查 准率Precise 与查全率Recall曲线<sup>112]</sup>来衡量。

# 3.1 配准质量对比分析

不同算法的配准效果见图6,可知,在面对图像几 何变换程度较大时,文中算法的配准精度最高,误配 现象较少,见图6b;而A和B两技术难以应对此情况, 其匹配质量不佳,出现了较多的误配点对,见图6c和 图6d。文中定义了相位一致性特征,对关键点完成提



\* 初始图像



h 文中算法





d B算法

图 6 3 种算法的配准结果 Fig.6 Registration results of three algorithms

纯,消除误配点与稳定性不佳的特征点,并设计角度 距离,替代相邻特征,改进了图变换匹配技术,增强了 算法鲁棒性,且对初始匹配关系完成了修复,优化了 配准精度。A和B算法对难以实现图像特征点的提 纯,且对特征点的局部特性较为敏感。

### 3.2 匹配精度量化对比

为了直观体现3种算法的优劣,文中利用查准率与查全率曲线来量化,其计算模型如下<sup>[13-15]</sup>:

查准率=
$$\frac{TP}{AP}$$
 (25)

查全率=
$$\frac{TP}{FP}$$
 (26)

离散利群点数量=
$$\frac{W \times FP}{1 - W}$$
 (27)

式中:TP代表准确配准数量;AP代表总的正确配 准数量;FP代表总匹配数;W代表离群点的比例。 文中算法与其他2种技术的查准率与查全率曲线 见图7,可知,当离群点逐渐增多时,3种配准机制的性 能都开始下降,但是文中算法的配准精度仍然较为理 想,见图7b,当W=90%时,其查准率和查全率分别保 持在0.921与0.714;而A和B技术则不佳,面对W= 90%时,下降幅度剧烈,其查准率(A)=0.547,查全率 (A)=0.306以及查准率(B)=0.359,查全率(B)=0.168。 文中算法改进了图变换匹配技术,使其不受噪声以及 光照等变换的影响,且具有相位一致性特征,有效消 除了误配点与不稳定特征点,显著改善了文中算法的 配准精度;而对照组算法则难以消除误配点,使其精 度不佳。



图 7 算法的查全率与查准率曲线 Fig.7 Recall and precision curves of different algorithms

# 4 结语

为了消除图像配准算法在匹配几何变换程度较大存在的误配现象,以提高配准精度,并改善算法匹配效率,这里提出了加权相位一致性耦合改进的图变换匹配的精准动态图像配准算法。利用SIFT机制与相位一致性特征,检测图像中的关键点,并对关键点完成提纯,消除误配点与稳定性不佳的特征点;随后,设计角度距离,替代相邻特征,改进图变换匹配技术,形成精准匹配关系集,并修正初始匹配关系;最后,再次利用改进的图变换匹配算法处理修正后的匹配关系,进一

步提高匹配精度。仿真结果显示,与当前图像配准技 术相比,文中算法的配准精度与鲁棒性更高。

#### 参考文献:

- NEJATI M, POURGHASSEM H. Multiresolution Image Registration in Digital X-Ray Angiography with Intensity Variation Modeling[J]. Journal of Medical Systems, 2014, 38 (2): 10.
- [2] GHANTOUS M, BAYOUMI M. MIRF: A Multimodal Image Registration and Fusion Module Based on DT-CWT[J]. Journal of Signal Processing Systems, 2013, 71(1):41-55.
- [3] VIALARD F, RISSER L, RUECKERT D. Diffeomorphic 3D Image Registration via Geodesic Shooting Using an Efficient Adjoint Calculation[J]. International Journal of Computer Vision, 2012, 97(2):229-241.
- [4] BOUCHIHA R, BESBES K. Comparison of Local Descriptors for Automatic Remote Sensing Image Registration[J]. Signal, Image and Video Processing, 2015, 9(2):463—469.
- [5] 杜杰,刘亚秋,孙垚. 基于仿射不变闭合区域和SURF的图像匹配算法[J]. 计算机应用研究,2014,31(1):295—298.
  DU Jie, LIU Ya-qiu, SUN Yao. Image Matching Algorithm Based on Affine-Invariant Closed Region and SURF[J]. Application Research of Computer,2014,31(1):295—298.
- [6] HU S B, SHAO P. Improved Nearest Neighbor Interpolators Based on Confidence Region in Medical Image Registration[J]. Biomedical Signal Processing and Control, 2012, 7(5):525-536.
- [7] 李婷婷,汤进,江波.迭代的图变换匹配算法[J].中国图象 图形学报,2014,19(5):723—729.
  LI Ting-ting, TANG Jin, JIANG Bo. Graph Transformation Matching Algorithm Based on Iterative Mechanism[J]. Journal of Image and Graphics,2014,19(5):723—729.
- [8] GHASSABI Z, SHANBEHZADEH J, SEDAGHAT A. An Efficient Approach for Robust Multimodal Retinal Image Registration Based on UR-SIFT Features and PIIFD Descriptors[J]. EURASIP Journal on Image and Video Processing, 2013, 13 (1):1-16.
- [9] KIM M J, WU G R, WANG Q. Improved Image Registration by Sparse Patch-Based Deformation Estimation[J]. 2014, 105 (15):257-268.
- [10] VINCK M, WINGERDEN M, WOMELSDORF T. The Pairwise Phase Consistency: A Bias-free Measure of Rhythmic Neuronal Synchronization[J]. Neuroimage, 2011, 51 (1): 112-122.
- [11] GHARABAGHI S, DANESHVAR S. Retinal Image Registration Using Geometrical Features[J]. Journal of Digital Imaging, 2013, 26(2): 248—258.

(下转第147页)

移,最终达到提高喷墨热转印质量的目的。

#### 参考文献:

 万达,屈贞财. 热转印纸转印适性评价模型的建立[J]. 纸和 造纸,2014,33(3):40—42.
 WAN Da, QU Zhen-cai. Building the Evaluation Model for

Thermal Transfer Paper Printability[J]. Paper and Paper Making, 2014, 33(3):40-42.

- [2] 王兴,张美云,郭凌华. 高温热转移印花纸的纸张性质及印刷适性[J]. 纸和造纸,2011,30(11):39—41.
  WANG Xing, ZHANG Mei-yun, GUO Ling-hua. Printabilities and Properties of Heat Transfer Calio Paper[J]. Paper and Paper Making,2011,30(11):39—41.
- [3] 陈文革. 不同纸张的油墨转移与印刷压力的关系[J]. 纸和 造纸,2013,32(3):70—72.

CHEN Wen-ge. Relationship between Ink Transfer and Printing Pressure[J]. Paper and Paper Making, 2013, 32(3): 70-72.

- [4] 李思慧,钱军浩.热转移印刷中承印物热力学性能的研究
  [J].包装工程,2013,34(1):119—122.
  LI Si-hui, QIAN Jun-hao. Research of Substrate Thermodynamic Performance in Thermal Transfer Printing[J]. Packaging Engineering,2013,34(1):119—122.
- [5] 张滇溪,夏冬,史爱娟. 活性墨水在天然纤维织物热转移印花中的应用[J]. 染整技术,2012,34(1):25—27.
  ZHANG Dian-xi, XIA Dong, SHI Ai-juan. Application of Active Ink in Natural Fiber Fabrics Thermal Transfer Printing [J]. Dyeing and Finishing,2012,34(1):25—27.
- [6] 陈海生, 屈贞财, 官燕燕, 等. 用于水性导电油墨的纳米银 分散液的制备[J]. 包装工程, 2013, 34(13):102—104.
  CHEN Hai-sheng, QU Zhen-cai, GUAN Yan-yan, et al. Preparation of Nano-silver Dispersions for Water-based Conductive Ink[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(13):102— 104.

- [7] 梁丽娟,黄蓓青,颜燕妮,等. 胶版纸性能对油墨转移影响的探讨[J]. 包装工程,2010,31(17):125—127.
  LIANG Li-juan, HUANG Bei-qing, YAN Yan-ni, et al. Discussion on the Impact of Properties of Offset Paper on Ink Transfer[J]. Packaging Engineering,2010,31(17):125—127.
- [8] 陈家祥,唐正宁,王莎莎,等. 柔印网纹辊油墨转移特性研究[J]. 包装工程,2015,36(7):134—137.
  CHEN Jia-xiang, TANG Zheng-ning, WANG Sha-sha, et al. Ink Transfer Characteristics in the Flexographic Printing Process[J]. Packaging Engineering, 2015,36(7):134—137.
- [9] 薛美贵,杨玉春,邢文文,等. 印刷用纸孔隙结构分析[J]. 包装工程,2015,36(3):129—132.
  XUE Mei-gui, YANG Yu-chun, XING Wen-wen, et al. Porous Structure Analysis of Printing Paper and Board[J]. Packaging Engineering,2015,36(3):129—132.
- [10] CHEN Hai-sheng, QU Zhen-cai, TANG Bao-lin. Research on Fuzzy Evaluation of Ink-jet Paper Printability[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011(1):90—94.
- [11] QU Zhen-cai, CHEN Guang-xue, TANG Bao-lin. Effect of Paper Surface Characteristics on Dot Gain in Ink-jet Printing
   [J]. Advanced Materials Research, 2011(6):1405—1409.
- [12] 李思慧,钱军浩.热转移印刷中油墨转移渗透理论的研究
  [J].中国造纸学报,2013,28(1):35—38.
  LI Si-hui, QIAN Jun-hao. Study on Ink Transfer Osmtic Effect in Thermal Transfer Printing[J]. Transactions of China Pulp and Paper,2013,28(1):35—38.
- [13] QU Zhen-cai. Innovation in Low Carbon Printing & Packaging[J]. Applied Mechanics and Materials, 2013(3):2257-2260.
- [14] QU Zhen-cai, CHEN Guang-xue, TANG Bao-lin, et al. Study on Model of Dot Gain in Ink-jet Printing[J]. Advanced Materials Research, 2011(8):1405—1409.
- [15] WAN Da. Effects of Thermal Transfer Paper Performance on Transfer Quality[J]. Advanced Materials Research, 2014(3): 1443—1446.

#### (上接第113页)

[12] 刘小丹,吴笑嫦,曹耐.基于颜色不变量和仿射不变性的彩
 色图像配准[J]. 计算机工程与设计,2014,35(12):4243-4248.

LIU Xiao-dan, WU Xiao-chang, CAO Nai. Registration of Color Images Based on Color Invariants and Affine Invariant [J]. Computer Engineering and Design, 2014, 35(12):4243— 4248.

[13] 于雪莲,陈钱,顾国华.基于相位一致性和Hough变换的多 源图像配准方法[J].强激光与粒子束,2013,25(9):2223— 2238.

YU Xue-lian, CHEN Qian, GU Guo-hua. Multi-sensor Im-

age Registration Method Based on Phase Congruency and Hough Transform[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2013,25(9):2223-2238.

- [14] CAMPBELL M G, TIWARI S, GRUNDMANN F. Three-dimensional Image Registration Improves the Long-term Precision of In Vivo Micro-Computed Tomographic Measurements in Anabolic and Catabolic Mouse Models[J]. Calcified Tissue International, 2014, 94(3):282-292.
- [15] WORZ S, ROHR K. Spline-Based Hybrid Image Registration using Landmark and Intensity Information Based on Matrix-Valued Non-radial Basis Functions[J]. International Journal of Computer Vision, 2014, 106(1):76—92.