

基于互信息和混合算法的印刷图像配准

金 阔 奇¹, 简 川 霞¹, 赵 荣 丽^{1,2}

(1.广东工业大学, 广州 510006; 2.广东省创新方法与决策管理系统重点实验室, 广州 510006)

摘要: **目的** 为了提高印刷图像配准的精度, 提出一种基于混合搜索算法的图像配准方法。**方法** 首先求取图像的归一化互信息, 然后利用 GA 算法 (遗传算法) 进行全局搜索, 得出粗配准参数; 最后, 利用 Powell 算法进行局部寻优, 得出精配准参数。**结果** 混合算法的配准结果与只用单一 Powell 搜索算法或只用单一 GA 搜索算法相比, 在各个几何变换方向上得到了更小的配准误差。**结论** 与 GA 算法和 Powell 算法相比, 文中建议的混合算法配准精确度更高、速度更快。

关键词: 归一化互信息; 遗传算法; Powell 算法; 图像配准

中图分类号: TS801.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)13-0194-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.13.032

Printing Images Registration Based on Mutual Information and Hybrid Algorithm

JIN Hong-qi¹, JIAN Chuan-xia¹, ZHAO Rong-li^{1,2}

(1. Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China; 2. Guangdong Provincial Key Laboratory of Innovation Method and Decision Management System, Guangzhou 510006, China)

ABSTRACT: The work aims to propose an image registration method based on hybrid search algorithm, so as to improve the accuracy of printing image registration (IR). Firstly, the normalized mutual information of the image was calculated, and then the global search was done by GA (genetic algorithm) to obtain the rough registration parameters. Finally, the Powell algorithm was used for local optimization to obtain the precise registration parameters. Compared with the single Powell or GA search algorithm, the registration results of hybrid algorithm had smaller registration error in each geometric transformation direction. The proposed hybrid algorithm registration is much more accurate and fabulously faster than GA algorithm and Powell algorithm.

KEY WORDS: normalized mutual information; genetic algorithm; Powell algorithm; image registration

在印刷工业生产过程中, 经常需要对印刷加工品进行表面缺陷检测。目前常采用人工抽检的方式, 从大量的印刷产品中不定时地抽取样张, 并将抽取的样张与标准样张进行比对, 找出印刷中出现的缺陷。这种人工抽检的方式效率低, 检测的准确率不理想, 且不能全检每个印刷产品^[1]。基于机器视觉的产品表面缺陷自动检测已经成功用于工业产品生产线上, 目前也有印刷产品的机器视觉检测系统问世^[2]。基于机器视觉的印刷产品缺陷检测常采用待测图像和模板图像进行差分运算, 在残差图像中找出印刷产品的缺

陷。如果待测图像和模板图像没有逐像素对齐, 两者差分之后, 在残差图像上就会出现较大的误差, 影响缺陷检测的准确率, 因此, 有必要对待测图像和模板图像进行图像配准, 为两者差分运算奠定基础。为了提高印刷产品缺陷检测的准确率, 系统对图像的配准精度要求比较高。为此, 有必要开展印刷图像配准研究, 这对提高我国印刷行业的整体工业水平具有重要的作用。

1 研究背景

由于互信息测度函数具有变量多、无具体的数学

收稿日期: 2017-05-26

基金项目: 国家自然科学基金 (51605101); 广东省数控一代机械产品创新应用示范工程专项资金项目 (2013B011301023)

作者简介: 金阔奇 (1995—), 男, 广东工业大学本科生, 主攻图像处理和机器视觉。

通信作者: 简川霞 (1979—), 男, 硕士, 广东工业大学讲师, 主要研究方向为图像处理和机器视觉。

公式等特点,互信息配准算法中常用到无约束多变量优化算法^[3-4],如原始共轭方向发、Powell 法等、仿生优化算法,如粒子群优化算法、模拟退火算法和遗传算法(GA)等。

原始共轭方向法仅仅需要计算目标函数值而不必求导数值的优点,但同时具有必须保持每次迭代中前 n 个搜索方向线性无关否则将使导致函数结果无解的缺点;Powell 是基于原始共轭方向法算法的改进算法,具有搜索速度快、局部寻优能力强,局部搜索精度较高等优点,但同时具有初始点依赖度大的缺点,这易导致函数结果陷入局部最优解,若仅利用 Powell 法进行互信息函数的参数寻优会因为互信息函数存在众多局部极值而得到不准确的,甚至是完全错误的,配准参数^[5]。模拟退火算法具有 Powell 算法的局部寻优能力强的优点,且具有运行时间短,但全局搜索能力差,易受参数的影响;粒子群算法具有收敛速度先快后慢、全局搜索能力较强等特点,但存在精度较低易发散等缺点。GA 算法起源于达尔文的生物进化论^[6-7]。GA 算法的主要思想是“物竞天择,适者生存”,通过随机按照二进制编码方式产生一个初代种群,然后进行逐代进化。每一次迭代,根据个体解码后计算得到的适应度大小以及精英计划,进行复制操作,并按照指定概率或自适应概率进行基因交叉和基因变异操作,生成新一代的种群。GA 算法中,后代种群适应度均值高于前代的,可证明其搜索结果在有限迭代次数后能收敛于全局最优解,但 GA 算法难以确定算法找到的解就是最优解,特别是在迭代次数较小的情况下,通常只能得到接近最优解的解^[8-9]。

针对 GA 算法和 Powell 算法在参数寻优过程中出现的问题,文中将全局搜索的 GA 算法和局部搜索的 Powell 算法相结合形成混合算法,寻找最优参数以实现印刷图像配准。GA 算法在全局找到近似最优解,避免 Powell 算法中出现的局部最优问题;然后将全局近似最优解作为 Powell 算法的初始解进行局部寻优,找到更精确的全局最优解。

2 基于混合优化算法的图像配准

2.1 归一化互信息测度

归一化互信息是基于灰度信息的图像配准中的一个常用的相似性测度,是用来测量 2 个随机系统的相关度,相关度越大互信息值越大,同时可以避免传统互信息图像区域重叠的问题。配准图像和待配准图像可以分别看作 2 个具有不同灰度级概率分布的系统,可用图像信息熵,包括单一信息熵和联合信息熵,计算 2 幅图像的相关性。归一化互信息的计算分为以下几个步骤。

1) 图像 A, B 信息熵 $H(A)$, $H(B)$ 的计算公式为:

$$H(A) = -\sum_a p_A(a) \log_2 p_A(a) \quad (1)$$

$$H(B) = -\sum_b p_B(b) \log_2 p_B(b) \quad (2)$$

式中: $p_A(a)$, $p_B(b)$ 分别为图像 A, B 中灰度值的概率分布。

2) 计算 2 幅图像 A, B 的联合信息熵 $H(A, B)$:

$$H(A, B) = -\sum_{a,b} p_{AB}(a, b) \log_2 p_{AB}(a, b) \quad (3)$$

式中: $p_{AB}(a, b)$ 为图像 A, B 的联合灰度值的概率分布。

3) 归一化互信息 $NMI(A, B)$ 的定义为:

$$NMI(A, B) = \frac{H(A) + H(B)}{H(A, B)} \quad (4)$$

2.2 GA 和 Powell 相结合的混合优化算法

文中利用 GA 算法和 Powell 的混合优化算法对相似性测度寻优的配准方法。该混合优化算法首先利用具有全局搜索能力的 GA 进行寻优,得到的寻优参数作为 Powell 算法的初始值进行局部寻优,提高了配准的精度和效率。

该混合优化算法的具体实现过程^[10-16]如下所述。

1) 在第 g 次迭代中,编码长度为 n 的个体 i 的编码 $x^{g,i}$ ($1 \leq i \leq m$) 为:

$$x^{g,i} = x_1^{g,i}, x_2^{g,i} \dots x_n^{g,i}, i=1, 2 \dots m, g=1, 2 \dots \quad (5)$$

2) 在 $g+1$ 次迭代时,按以下 3 个基本原则生成群体 $x^{g+1,i}$ ($1 \leq i \leq m$)。

①复制。随机选定第 g 代的个体进行复制,选中某个个体 i 的概率 $p(x^{g,i})$ 为:

$$p(x^{g,i}) = f(x^{g,i}) / \sum_{i=1}^m f(x^{g,i}), i=1, 2 \dots m \quad (6)$$

式中: $f(x^{g,i})$ 为 $x^{g,i}$ 的适应度; $f(x)$ 为适应度函数。复制后的个体称为临时个体,记为 $x^{g,i}$ 。

②基因交换。依据某种准则,确定 2 个临时个体 $x^{g,i}$, $x^{g,i+1}$ 基因交换概率 p_c ,从而选定一个基因交换位置 s ($1 \leq s \leq n$),进行基因交换。结果可生成第 $g+1$ 代的个体为:

$$x^{g+1,i} = (x_1^{g,i}, x_2^{g,i} \dots x_s^{g,i}, x_{s+1}^{g,i+1} \dots x_n^{g,i+1}) \quad (7)$$

$$x^{g+1,i+1} = (x_1^{g,i+1}, x_2^{g,i+1} \dots x_s^{g,i+1}, x_{s+1}^{g,i} \dots x_n^{g,i}) \quad (8)$$

③基因突变。依据某种准则,确定个体 i 在每一个位置的基因突变成其他等位基因的基因突变概率为 p_m ,从而进行式(9)操作。

$$x_j^{(g+1,i)} = \overline{x_j^{g+1,i}} (j \in [1, n]) \quad (9)$$

式中: $\overline{x_j^{g+1,i}}$ 表示与 $x_j^{g+1,i}$ 不同的等位基因。

3) 不断重复步骤 2),直到第 $g+1$ 代的 m 个个体全部得到为止。当满足收敛准则时,停止迭代,进行

解码,得到骤4)的初始点 x_0 。

4)进入新一轮迭代循环, $n+1$ 次(n 为搜索函数的参数个数)的一维搜索是每轮迭代的内容。在每轮迭代中,先从初始点 x_0 出发,依次沿着已知的 n 个线性无关方向($S_0, S_1 \dots S_{n-1}$)进行 n 次一维搜索,得到一个最好点 x_n ;利用改进的规则(梯度差 Δ ;最大梯度差 $\Delta_{\max}$)确定新的搜索方向,接着从点 x_n 出发,沿着 S 方向进行1次一维搜索,得到本轮的最好点 x'_0 ,作为新一轮的初始点重复步骤4)。当满足收敛条件时,停止迭代,得到最优解 x_n^* 。

混合优化算法的实现流程见图1。

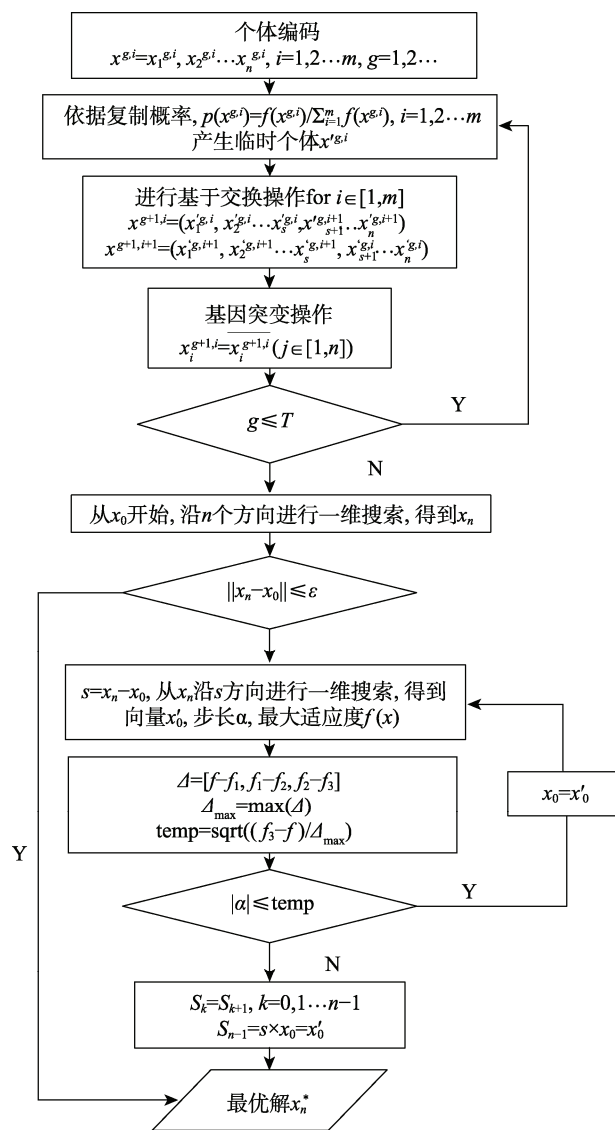


图1 建议方法的配准流程

Fig.1 Registration flowchart of the proposed method

3 实验与结果分析

在图像配准过程中,依据归一化互信息(NMI)作为相似性测度,利用GA和Powell混合优化算法寻找函数的配准参数,对比利用单一算法寻找函数的

配准参数。具体检测步骤见图2。

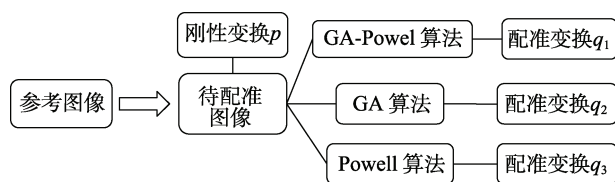


图2 具体检测流程

Fig.2 Specific detection flowchart

由图3的结果可以看出,利用归一化互信息(NMI)作为相似性测度,GA-Powell混合优化算法和单一优化算法都可以不同程度地配准参考图像和待配准图像。将图3中的刚性变换 p 和利用NMI测度得到的配准参数变换 q_1, q_2 和 q_3 整理于表1(其中 t_x, t_y, t_θ 分别为配准参数变换 q_1, q_2, q_3 在 x, y, θ 配准方向上的误差),目的是为了验证依据相同NMI作为图像配准相似性测度时不同算法的有效性。

对表1进行分析,从各方向的误差 t 及误差距离 t_m 的角度看,将刚性变换 p 作用于配准图像得到待配准图像,利用NMI(归一化互信息)作为相似性测度进行图像配准,利用GA-Powell混合优化算法进行配准,刚性变换 p 和配准参数变换 q_1 在水平方向或竖直方向会有1至4个像素的误差,误差距离 t_m 平均值小于5.0。利用GA优化算法进行配准,刚性变换 p 和配准参数变换 q_2 在水平方向或竖直方向会有2至10个像素的误差,误差距离 t_m 平均大于5.0小于10.0。利用Powell算法进行配准,刚性变换 p 和配准参数变换 q_3 在水平方向或竖直方向会有10至30个像素的误差,误差距离 t_m 平均大于20.0。因为利用Powell算法进行图像配准时,最终的优化结果十分依赖于初始点的选择,故容易出现大误差,这是其结果误差最大的原因,基本上未能实现配准,但是Powell具有能快速地找到局部最优解的优点。GA算法能进行全局寻优,不会出现局部最优问题,但是其收敛速度较慢,同时结果误差较大。结合Powell算法和GA算法的混合优化算法可以平衡这2种算法的优缺点,先用Powell算法找到多个局部最优解,然后它们构成共轭初值,使寻优结果达到更高的精度,速度也比单纯用GA算法要快。

从配准时间的角度看,Powell算法的运算时间是最短的,但是最终结果的误差明显超过可接受的范围。混合优化算法的配准速度相比与GA算法要快,而且误差更小,这是因为纯GA算法收敛速度较慢,容易导致过拟合现象,即虽然结果变化很小,但算法本身并没有停止。

表1中 t_x, t_y, t_θ 分别为配准参数变换 q_1, q_2, q_3 在 x, y, θ 配准方向上的误差; t_m 为 t_x, t_y, t_θ 构成的误差距离, $t_m = \sqrt{t_x^2 + t_y^2 + t_\theta^2}$ 。



图 3 图像配准结果
Fig.3 Results of image registration

表 1 配准参数比较
Tab.1 Comparison of registration parameters

算法	参考图像	待配准图像	刚性变换 p	配准参数变换 q	t_x	t_y	t_θ	t_m	配准时间/ms
GA-Powell 混合优化算法	图 3a	图 3b	(-10, 5, -30)	(11.5, -1, 29.5)	1.5	4	-0.5	4.30	27
		图 3c	(10, -10, 20)	(-7.5, 13, -19.5)	2.5	3	0.5	3.94	26
		图 3d	(-10, 20, 10)	(6, -22, -10.5)	-4	-2	-0.5	4.50	30
GA 算法	图 3a	图 3b	(-10, 5, -30)	(4.5, 5, 33)	-5.5	10	3	11.80	38
		图 3c	(10, -10, 20)	(-8, 13, -20)	2	3	0	3.60	52
		图 3d	(-10, 20, 10)	(5, -24, -11)	-5	-4	-1	6.48	54
Powell 算法	图 3a	图 3b	(-10, 5, -30)	(15, 1.5, 0)	5	6.5	-30	31.10	10
		图 3c	(10, -10, 20)	(-9, -1, -3)	1	-11	17	20.27	11
		图 3d	(-10, 20, 10)	(2.5, 8.5, -2.5)	-7.5	28.5	7.5	30.41	10

4 结语

采用归一化互信息 (NMI) 作为相似性测度, 并利用 GA-Powell 混合优化算法依据 NMI 进行参数寻优, 通过实验证明, 单一 GA 算法配准精度不高, 容易导致配准参数收敛速度过慢, 单一 Powell 算法过于依赖初始点, 易出现较大配准误差; GA 和 Powell 作为优化算法比单一 GA 算法配准或者单一 Powell 配准误差更小, 效率更高。

参考文献:

- [1] QIU Q W, LAU D. A Novel Approach for Near-surface Defect Detection in FRP-bonded Concrete Systems Using Laser Reflection and Acoustic-laser Techniques[J]. Construction and Building Materials, 2017, 141(6): 553—564.
- [2] JIAN C X, GAO J, AO Y. Automatic Surface Defect Detection for Mobile Phone Screen Glass Based on Machine Vision[J]. Applied Soft Computing, 2017, 52(3): 348—358.
- [3] BROWN L G. A Survey of Image Registration Techniques[J]. ACM Computing Surveys, 1992, 24(4): 325—376.
- [4] 段美茵. 基于互信息的图像配准方法研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2011.
DUAN Mei-yin. Research of Methods of Images Registration[D]. Xi'an: Xidian University, 2011.
- [5] 陈显毅. 图像配准技术及其 MATLAB 编程实现[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
CHEN Xian-yi. Image Registration Technology and Its Implementation by MATLAB Programming[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2009.
- [6] DEB K, AGRAWAL S, PRATAP A, et al. A Fast Elitist Non-dominated Sorting Genetic Algorithm for Multi-objective Optimization: NSGA-II[C]// Proceedings of 6th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature, Paris France, 2000: 849—858.
- [7] LEUNG Y W, WANG Y. An Orthogonal Genetic Algorithm with Quantization for Global Numerical Optimization[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 5(1): 41—53.
- [8] 边霞, 米良. 遗传算法理论及其应用研究进展[J]. 计算机应用研究, 2010, 27(7): 2425—2429.
BIAN Xia, MI Liang. Development on Genetic Algorithm Theory and Its Applications[J]. Application Research of Computers, 2010, 27(7): 2425—2429.
- [9] 马永杰, 云文霞. 遗传算法研究进展[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(4): 1201—1206.
MA Yong-jie, YUN Wen-xia. Research Progress of Genetic Algorithm[J]. Application Research of Computers, 2012, 29(4): 1201—1206.
- [10] OWSINSKI J. Machine-part Grouping in Flexible Manufacturing: Formalization and the Use of Genetic Algorithms[C]// IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems, Lisbon Portugal, 2010: 216—221.
- [11] CHANG C T, BLONDEL V D. Approximating the Joint Spectral Radius Using a Genetic Algorithm Framework[C]// IFAC World Congress, Milano Italy, 2011: 8681—8686.
- [12] TUDOR V I. A Hybrid Genetic Algorithm for Optimal Power Flow in Electrical Distribution Networks[C]// IFAC Workshop on Intelligent Control Systems, Sinaia Romania, 2010: 92—97.
- [13] MADAN M, MADAN S. Convalesce Optimization for Input Allocation Problem Using Hybrid Genetic Algorithm[J]. Computer Science, 2010, 6(4): 413—416.
- [14] KHEBBACHE H S, HANI Y, LAHIANI N, et al. Genetic Algorithm Used in Simulation Model: Application in a Maintenance Process[C]// IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Bucharest Romania, 2012: 1047—1052.
- [15] ZHANG L. Distributed Genetic Algorithm for Integrated Process Planning and Scheduling Based on Multi Agent System[C]// IFAC Conference on Manufacturing Modelling, Management, and Control, Saint Petersburg Russia, 2013: 760—765.
- [16] 刘思遥, 黄美发, 冯建国, 等. 基于自适应多种群遗传算法的圆度误差评定[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2016, 27(8): 96—99.
LIU Si-yao, HUANG Mei-fa, FENG Jian-guo, et al. Roundness Error Evaluation Based on Adaptive Multiple Population Genetic Algorithm[J]. Modular Machine Tool and Automatic Manufacturing Technique, 2016, 27(8): 96—99.