



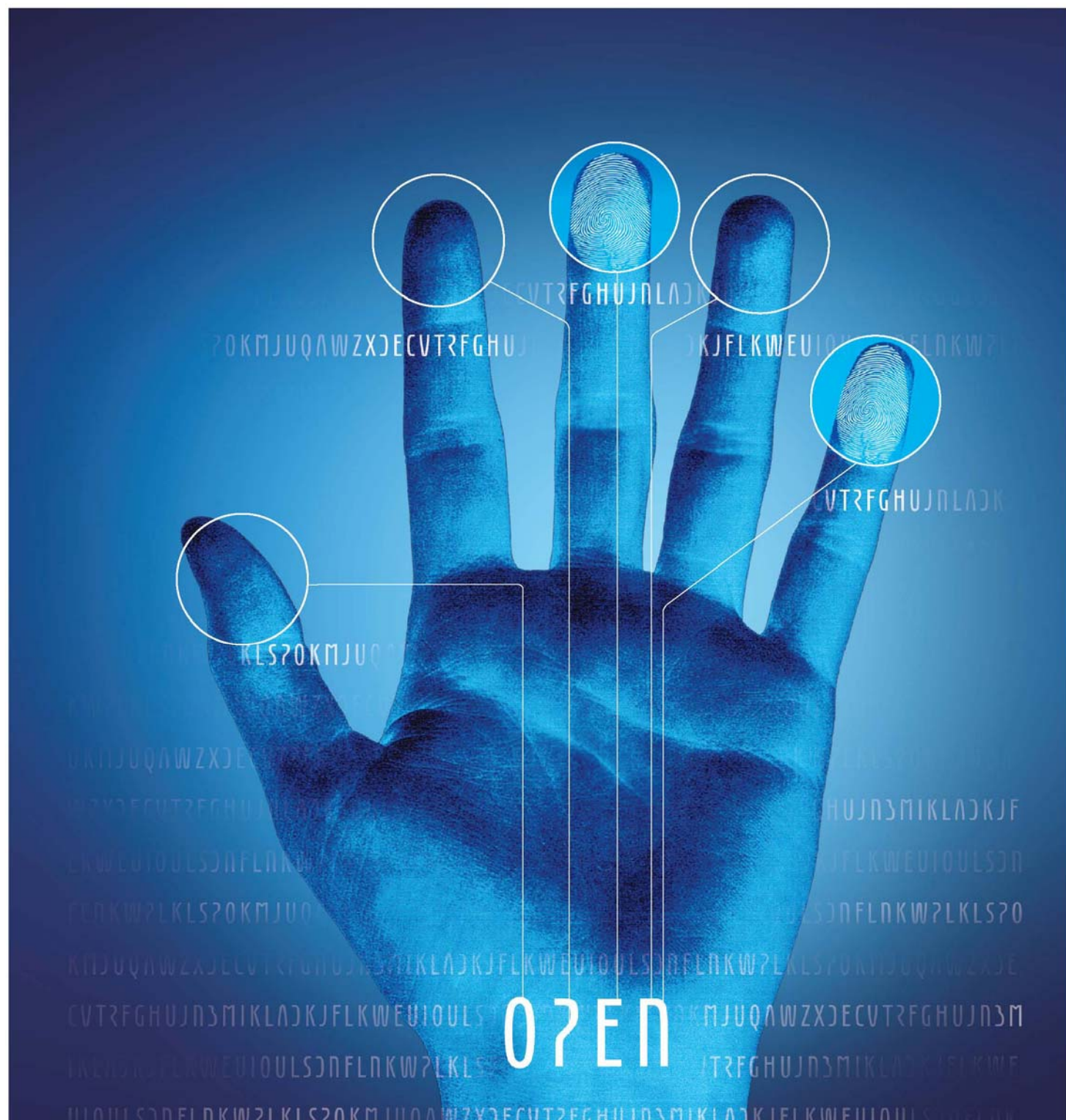
JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS

主办: 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

2013
07
VOL.18

ISSN1006-8961
CN11-3758/TB





第18卷第7期（总第207期）

2013年7月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。本刊所有图片均为非商业目的使用。

Copyright

2013 all rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所
中国图象图形学学会
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995 010-82614429

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司

（中国国际书店，邮政信箱：北京399信箱 邮编：100044）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian

Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS
China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995 010-82614429

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation
(P.O.Box 399, Beijing 100044, P.R.China)

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

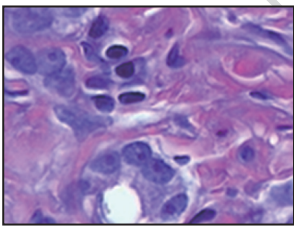
国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

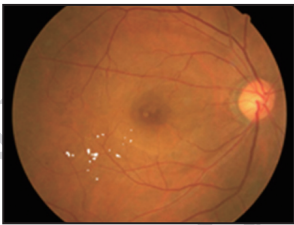
国内定价 50.00元



彩色纹理图像恢复的非局部TV模型 (第753页)



基于Nyström密度值逼近的减法聚类 (第790页)



RBF神经网络和阈值分割实现视网膜硬性渗出自动检测 (第859页)

图像处理和编码

各向异性的均衡化网状扩散模型 熊辉, 赖剑煌	731
特征提取和匹配的图像倾斜校正 钟金荣, 杜奇才, 刘炎, 林嘉宇	738
先进边界区分噪声检测的改进算法 祁冰露, 黄宴委, 陈少斌	746
彩色纹理图像恢复的非局部TV模型 端金鸣, 潘振宽, 台雪成	753
相似性约束的视频超分辨率重建 张义轮, 干宗良, 朱秀昌	761

图像分析和识别

低质量指纹图像方向场提取 卞维新, 徐德琴, 俞庆英	768
方向微分分块统计的运动模糊方向鉴别 李均利, 储诚曦	776
参数自适应的KPCA先验形状约束目标分割 沈霁, 李元祥, 周则明	783
基于Nyström密度值逼近的减法聚类 孙志海, 孔万增	790
空间目标检测序列图像中恒星目标抑制 黄宗福, 孙刚, 陈曾平	799

图像理解和计算机视觉

人体动作的超兴趣点特征表述及识别 王扬扬, 李一波, 姬晓飞	805
轮廓编组中的线索合并模型 王娇, 罗四维, 钟晶晶, 邹琪	813
全局图像特征分析与实时层次化消失点检测 孙愿, 卢鸿波, 张志敏	818
彩色图像特征捆绑的自动模型构建 徐洁, 邓红霞, 李海芳	829

计算机图形学

偏离映射的烙画风格绘制 钱文华, 徐丹, 岳昆, 官铮, 普园媛	836
点云模型法矢调整优化算法 孙金虎, 周来水, 安鲁陵	844

医学图像处理

基于惩罚最大似然优化模型的各向异性约束磁共振成像方法 邓梁, 史仪凯, 张均田	852
RBF神经网络和阈值分割实现视网膜硬性渗出自动检测 高玮玮, 沈建新, 王玉亮	859

遥感图像处理

衡量结构保持性能的SAR图像去噪质量评价 唐益明, 杨学志	866
地面LiDAR数据中建筑轮廓和角点提取 童礼华, 程亮, 李满春, 陈焱明, 王亚飞, 张雯	876

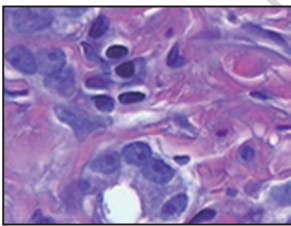
《中国图象图形学报》论文摘要写作要求	884
--------------------	-----

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Non-Local TV models for restoration of color texture images (P753)



Density value approximation for subtractive clustering based on Nyström method (P790)



Automatic detection of hard exudates based on RBF neural network and threshold segmentation (P859)

Image Processing and Coding

Equalized net diffusion model based on the anisotropy diffusion Xiong Hui, Lai Jianhuang	731
Robust method of skew correction based on feature points matching Zhong Jinrong, Du Qidai, Liu Ying, Lin Jiayu	738
Modification of advanced boundary discriminative noise detection algorithm Qi Binglu, Huang Yanwei, Chen Shaobin	746
Non-Local TV models for restoration of color texture images Duan Jinming, Pan Zhenkuan, Tai Xuecheng	753
Video super-resolution method based on similarity constraints Zhang Yilun, Gan Zongliang, Zhu Xiuchang	761

Image Analysis and Recognition

The orientation field extraction method for low quality fingerprints Bian Weixin, Xu Deqin, Yu Qingying	768
Identification of motion blur direction from motion blurred image by directional derivation and block statistics Li Junli, Chu Chengxi	776
Shape prior constrained KPCA object segmentation with parameter adaption Shen Ji, Li Yuanxiang, Zhou Zeming	783
Density value approximation for subtractive clustering based on Nyström method Sun Zhihai, Kong Wanzeng	790
Stellar targets suppression in image sequences for space targets detection Huang Zongfu, Sun Gang, Chen Zengping	799

Image Understanding and Computer Vision

Human action recognition based on super-interest points features Wang Yangyang, Li Yibo, Ji Xiaofei	805
Cue combination model for contour grouping Wang Jiao, Luo Siwei, Zhong Jingjing, Zou Qi	813
Hierarchical real-time vanishing point detection based on holistic image feature Sun Yuan, Lu Hongbo, Zhang Zhimin	818
Construction of the automatic model for feature binding of color image Xu Jie, Deng Hongxia, Li Haifang	829

Computer Graphics

Rendering pyrography style painting based on deviation mapping Qian Wenhua, Xu Dan, Yue Kun, Guan Zheng, Pu Yuanyuan	836
Optimal algorithm for normal adjustment of point clouds Sun Jinhu, Zhou Laishui, An Luling	844

Medical Image Processing

Anisotropically constrained MR imaging based on penalized maximum likelihood optimality model Deng Liang, Shi Yikai, Zhang Juntian	852
Automatic detection of hard exudates based on RBF neural network and threshold segmentation Gao Weiwei, Shen Jianxin, Wang Yuliang	859

Remote Sensing Image Processing

Image quality assessment of SAR image despeckling for measuring structure-preserving capability Tang Yiming, Yang Xuezhi	866
Extraction of building contours and corners from terrestrial LiDAR data Tong Lihua, Cheng Liang, Li Manchun, Chen Yanming, Wang Yafei, Zhang Wen	876

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)07-0738-08

论文引用格式: 钟金荣, 杜奇才, 刘荧, 林嘉宇. 特征提取和匹配的图像倾斜校正[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(7): 738-745. [DOI: 10.11834/jig.20130703]

特征提取和匹配的图像倾斜校正

钟金荣¹, 杜奇才², 刘荧¹, 林嘉宇¹

1. 国防科技大学电子科学与工程学院, 长沙 410073; 2. 特种作战学院侦察系, 广州 510500

摘要: 针对图像中不包含明显直线的情况, 提出一种基于特征点提取的图像倾斜校正算法。该算法建立在与无倾斜的训练图像比对基础上, 利用特征点构造直线, 不依赖于原图中是否存在直线, 具有尺度、平移无关性。首先使用双向最大相关系数匹配, 匹配正确率较高; 然后利用大数原理对数据进行处理, 去除误匹配的影响, 该算法最少可以利用两个匹配对, 即可检测出图像倾斜角度。结合应用背景, 还设计了一种用于特征提取的圆形模板, 具有类似于旋转不变的性质。

关键词: 特征匹配; 倾斜校正; 双向最大相关系数匹配; 大数原理

Robust method of skew correction based on feature points matching

Zhong Jinrong¹, Du Qicai², Liu Ying¹, Lin Jiayu¹

1. School of Electronic Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. Reconnaissance Department, PLA Special Operations University, Guangzhou 510500, China

Abstract: For images without obvious lines, a novel skew correction method based on feature points matching is proposed. In this method, the correction does not use actual lines, but relies on the lines constructed by the feature points extracted from the images. It is translation and scale invariant. Through bidirectional best correlative coefficients calculation, a high matching rate can be achieved. Mismatching can be decreased, by using the method based on the Law of Large Numbers. It can get the correct slant angles by using only two matching pairs. In addition, due to the special application background of this paper, a disk template is designed to extract the Eigenvector of the features, which leads to rotation invariance.

Key words: feature points matching; skew correction; bidirectional best correlative coefficients; law of large numbers

0 引言

图像处理系统获取的目标图像, 往往不可避免地会出现倾斜, 给后续处理造成困难。所以在图像预处理阶段, 要对图像进行倾斜校正^[1]。解决这个问题的方法可以分为两类: 第1类是单一图像倾斜校正^[1], 也是传统意义的倾斜校正。这种图像倾斜校正算法的核心是图像倾斜角度检测, 图像倾斜角

度的检测通常可分为5种方法^[2], 基于Hough变换的方法^[3,4]、基于投影轮廓的方法^[5]、基于最近邻域的方法^[6]、基于隔行交叉关联聚类的方法^[7]和基于融合技术的方法^[8]。考虑运算速度、运算复杂度、内存要求、图像噪声影响等因素, Hough变换法不失为一种最常用的方法。Hough变换基于点线对偶的原理, 通过检测图像中直线的倾斜角度来确定图像的倾斜角度, 对图像中存在明显的直线图像检测效果较好, 但是当图像中不存在直线时, Hough变换不

收稿日期: 2012-07-03; 修回日期: 2012-11-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(61035001, 61072095); 霍英东基金项目(122008)

第一作者简介: 钟金荣(1985—), 男, 国防科技大学信息与通信工程专业在读博士研究生, 主要研究方向为图像处理和模式识别、语音信号处理。E-mail: hytlei0110@163.com

再适用。第2类是图像配准^[9-12]。图像配准是指将不同时刻、不同视角、不同传感器下获取的相同场景的多幅图像按照某种准则尽可能重叠的过程^[13]。图像配准利用两幅图像中若干控制点的对应关系, 计算出两幅图像之间的变换矩阵, 使两幅图像的对应像素点的坐标对准。图像配准有多种方法^[14], 如基于曲线的方法^[15]、基于相关的方法^[16]、基于矩和主轴线的方法^[17]、基于图集的方法^[18]、基于互信息的方法^[19]、基于人工神经网络的方法^[20]、基于遗传算法的方法^[21]等。如果用一幅没有倾斜的图像作为模板, 对倾斜图像进行图像配准, 则可实现倾斜校正。图像配准中, 当匹配点是数量较少的人工选取的控制点时, 利用匹配点对构造方程组, 求解方程组即可得到变换矩阵参数; 当匹配点为计算机自动选取时, 一般使用最小二乘法(LMS)求解, 此时要求局外点不能过多。

针对无明显的直线, 无明显的几何畸变的图像, 借鉴图像配准方法的基本思想, 提出一种将倾斜图像与无倾斜图像进行比对的, 基于特征点自动提取与匹配、构造直线的图像倾斜检测算法。

应用背景为电话机键盘、工业产品上的印刷标志等, 目标比较分散、不包含明显直线的图像。在此背景下, 进行了大量的实验均获得了较好的检测效果, 具有一定的稳健性, 计算量也得到很好的控制。为了验证算法对本文应用背景以外图像的有效性, 使用了内容较复杂的图像进行了实验, 结果表明了本文算法对不同的图像具有适用性。

1 算法原理

算法的基本思想是: 1) 在图像倾斜角度检测前, 先进行训练。采集无倾斜角度的图像, 提取图像的特征点, 并通过一定的准则, 减少特征点数量, 确定最大兴趣点集, 并提取特征点的特征, 要求此特征具有旋转不变的性质。图1中A、B是正确图中检测到的两个特征点。2) 提取待检测图像的特征点。对特征点进行双向自相关匹配, 取得匹配特征点集。假设图1中a、b两点是图1中A、B两点的匹配点。利用两点确定一条直线的原理, 原始图像中A、B构成一条直线 L_{AB} , 待检测图像中a、b构成一条直线 L_{ab} 。

理论上, 计算 L_{AB} 与 L_{ab} 的夹角就可以得到图像的倾斜角度, 这要以匹配点集中的匹配对完全是正确匹配为前提。实际应用中, 特征点错误匹配是难

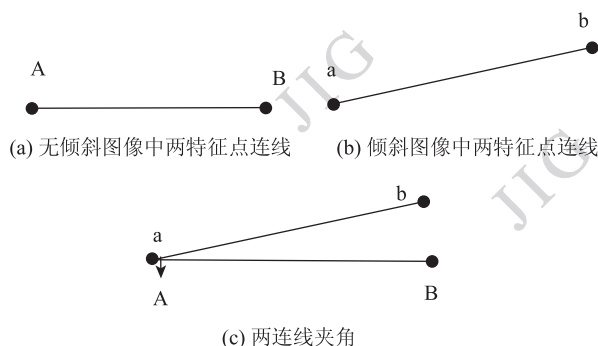


图1 构造倾斜角

Fig. 1 Construction of a tilt angle

以避免的。为了提高检测的可靠性和结果的准确性, 利用大数原理, 提出了基于角度分布统计图的最大值检测算法。假设匹配点集内有 N 个特征点, 那么可以构造 C_N^2 条直线, 计算得到 C_N^2 个倾斜角度值。对这 C_N^2 个值进行角度分布统计, 求取分布曲线最大值, 其对应的角度就是图像倾斜角度。这样一来, 只要匹配点大部分是正确的, 就能确保检测结果的准确。

1.1 特征点检测

图像特征点类型有很多, 最基本为图像的质量中心、图像的角点等。质量中心是灰度图像或二值化图像中某一子区域内像素值的重心, 对于图像内容离散分布的图像质量中心是一个较好的特征点。角点是指图像中灰度变化较剧烈的点, 角点具有平移、旋转、尺度不变性, 是一类稳定的特征点。可根据不同图像的特点, 选取不同的特征点类型和数量。从后面的论述中将发现, 特征点数量与算法的稳健性成正比, 与计算量成反比, 应用时应合理地选择特征点数量。实验将要用到的特征点是图像子区域的质量中心。

1.2 特征提取

提取出特征点后, 必须提取一个描述此特征点的特征向量, 也称此特征点的特征描述子。特征描述子有很多, 最常用的有特征点邻域的方差、灰度直方图、HU矩、SIFT不变量^[22]等, 实际应用中可以根据需要选取。

1.3 双向相关特征匹配

使用双向最大相关系数^[1,10]进行特征点匹配。使用尺度变化率作为相似测度。从模板图像中提取的特征点集 I_0 , 从当前图像中提取的特征点集 I_1 。具体步骤: 1) I_0 中的每一点在 I_1 中搜索相关系数 $coef_{ji}$ 最大的点, 作为其匹配点。2) I_1 的每一个点也

在 I_0 中搜索相关系数 coef_{ji} 最大的点, 作为其匹配点。此时, I_0 和 I_1 中的每一点都有一个匹配点。3) 搜索相同的匹配点对。假设 I_0 中第 i 点的匹配点是 I_1 中的第 j 点, 则检测 I_1 中第 j 点的匹配点是否 I_0 中第 i 点, 如果是则认为匹配成功, 如果不是则剔除 I_0 中第 i 点。4) 得到匹配点集 I'_0 和 I'_1 , 这两个匹配点集的匹配对应该是一样的。

1.4 基于大数原理的倾斜角度检测

假设 I'_0 和 I'_1 中有 m 个点, 两两相连, 得到两个点集分别会得到 C_m^2 条直线。设 A、B 为 I'_0 中的两点, 它们的匹配点分别为 I'_1 中的 a、b 点。则它们的连线如图 1(a)(b) 所示分别为 L_{AB} 与 L_{ab} , 对 a、b 点进行坐标变换 L_{ab} 平移使 A 点和 a 重合, 如图 1(c) 所示。 L_{AB} 与 L_{ab} 的夹角

$$\theta = \arccos\left(\frac{d_{AB}^2 + d_{ab}^2 - d_{Bb}^2}{2d_{AB}d_{ab}}\right) \quad (1)$$

以各自所在图像的左上角为原点, 水平方向为 X 轴, 垂直方向为 Y 轴, 建立坐标系, 设 A、B、a、b 的坐标分别为 (x_A, y_A) 、 (x_B, y_B) 、 (x_a, y_a) 、 (x_b, y_b) , 则

$$d_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$$

$$d_{ab} = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2}$$

$$d_{Bb} = \sqrt{[(x_b - x_a + x_A) - x_B]^2 + [(y_b - y_a + y_A) - y_B]^2}$$

式(1)计算 θ 的值域为 $[0, 90^\circ]$, 但通过 b、B 点位置关系的比较可使 θ 的值域扩展到 $[-90^\circ, 90^\circ]$, 即

$$\theta = \text{sign} \cdot \theta \quad (2)$$

$$\text{sign} = \begin{cases} 1 & y_b \geq y_B \\ -1 & y_b < y_B \end{cases}$$

两个点集共有 C_m^2 组直线, 则计算得到 C_m^2 个夹角 θ_i , 每一个 θ_i 都可视为图像倾斜角度 φ 的一个样本。假设经过双向最大相关匹配的匹配对都是正确的, 那么, 对 C_m^2 个 θ 求平均就可以得到比较精确的图像倾斜角度 φ 。问题在于可能出现误匹配点, 所以必须对数据进行处理。通常的处理办法是在特征点匹配的环节, 用随机采样符合法等算法, 对误匹配点进行剔除。使用角度分布统计求最大值区间的办法, 不进行误匹配点的剔除, 而是直接剔除误匹配点所造成的错误的 θ 值, 去除误匹配的干扰。具体为: 首先, 设定一个区间间隔, 将 $[-90^\circ, 90^\circ]$ 的值域划分为若干小区间, 统计 C_m^2 个 θ 值落在各个区间的次数, 得到角度分布图。理论基础是正确的匹配点之

间连线所产生 θ 是集成的, 而错误匹配点产生的 θ 却是各不相同, 可以认为是随机散落在分布图的各个区间上的。然后, 找到 θ 出现次数最高的区间, 对落在此区间内的 θ 值求平均。最后求得图像倾斜角度 φ 。需要注意的是, 式(1)是原理性的公式, 在实际应用中根据图像的特点有很多快速算法, 如所处理的图像, 模板中的直线都是平行线或垂直线, 则不必使用式(1), 只需计算正切值进行大数统计即可。而正切值计算只需一次除法, 计算量大大减小。实际应用中, 根据图像特点, 总能找到一个式(1)的简化算法。

1.5 尺度和平移无关性讨论

在 1.2 节特征提取时如果选用旋转、尺度、平移不变特征, 则本文算法具有尺度、平移无关性。从图 1 和基于大数原理的倾斜角度检测中, 通过角度计算的分析中可知, 图 1(c) 所示的直线 L_{AB} 与 L_{ab} 的夹角 θ 与直线段 L_{AB} 、 L_{ab} 的长度是否相等无关。只要能得到匹配点 A-a、B-b, 及其在原图像中的坐标, 利用式(1)或其简化算法, 即可计算出夹角 θ 。且根据直线段 L_{AB} 、 L_{ab} 的长度 d_{AB} 、 d_{ab} , 还可以计算出图像的尺度变化率

$$k = \frac{d_{ab}}{d_{AB}} \quad (3)$$

根据 A、B、a、b 的坐标, 可以计算出图像的平移量, 即

$$\begin{aligned} t_x &= x_a - x_A \\ t_y &= y_a - y_A \end{aligned} \quad (4)$$

这两个平移量可以用大数原理处理, 以获得更稳定、更精确的值。

2 特征设计

结合应用背景, 设计了一个圆形模板, 用于提取网格特征, 基本原理如图 2 所示。



图 2 用于提取特征的圆形模板示意图

Fig. 2 Schematic diagram of template used in feature extraction

以特征点为圆心, 半径大小可根据图像特点设定。从 90° 开始, 每 45° 为一个区域, 将特征点的邻域划分为 8 等份。对于灰度图像, 可以提取每一个区域内像素值的方差、直方图、最大梯度等特征; 对于二值化图像, 可以提取每一个区域内前景点的数量(白点或黑点)的数量, 按 1~8 的顺序排列成一个 8 维向量, 作为此特征点的特征描述子。该特征描述子本身不具有严格意义上的旋转不变性, 但是通过对相关系数计算方法的修改, 可以使其具有旋转不变的性质。具体方法是在计算相关系数时允许模板转动, 找到最大相关系数, 如图 2(b) 所示。当转到图 2(c) 所示的位置时得到最大相关系数

$$\text{coef} = \max_{n=0}^{N-1} (R(n)) \quad (5)$$

$$R(n) = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_k}{\sqrt{\sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot \sum_{i=1}^N y_i^2}} \quad (6)$$

$$k = \begin{cases} i+n & i+n \leq 8 \\ i+n-N & \text{其他} \end{cases}$$

实际上, 通过转动的区域个数 n , 还可以大致确定当前图像的倾斜角度。

在实际运用中, 选取如图 3(a) 所示的双层 16 维的模板进行特征提取。对于更复杂、细节更丰富的图像, 可以使用双层 24 维模板进行特征提取。计算相关系数时, 先内外两层一起转动, 找到最大相关系数, 在此基础上, 再单独转动外层正负一个区域进行细搜索, 找到最大相关系数。根据图像倾斜的程度, 设定转动范围, 以减小计算量。

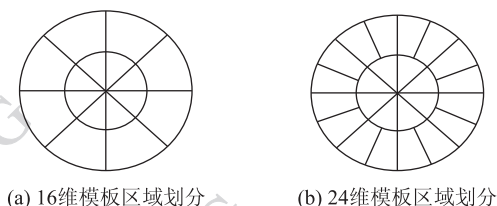


图 3 本文实验使用的模板

Fig. 3 The template used in the experiment

3 实验结果

为测试算法的有效性, 进行大量样本实验, 均得到了较好的结果。从图 4(a)(b) 可以看出, 没有明显的直线可以用来做 Hough 变换进行倾斜检测。

结合图像的特点, 选用图像的子区域中心点作

为特征点, 目的是减小计算量, 如图像没有显著的区域分块, 可以选用图像的角点。具体步骤如下:

1) 对图 4(a) 自动提取每一个按键区域的质量中心作为特征点, 共提取 19 个特征点。用 SUSAN 角点提取算法^[26], 自动提取角点, 角点集中分布在按键区域, 合并相距较近的角点, 可以获得角点中心, 根据角点位置, 划定按键区域, 在按键区域内提取质量中心。然后, 以特征点为中心, 以 r 为半径, 对区域进行局部二值化, 再使用图 3 所示的模板进行特征提取。提取模板中每 16 个小块中白点的数目, 按顺序排列成为一个 16 维向量, 作为特征描述子。根据图像的特点, 预先估计按键的大小, 取 $r = 30$ 。将这些特征点的信息保存成一个链表, 每个特征点是链表中的一个节点。

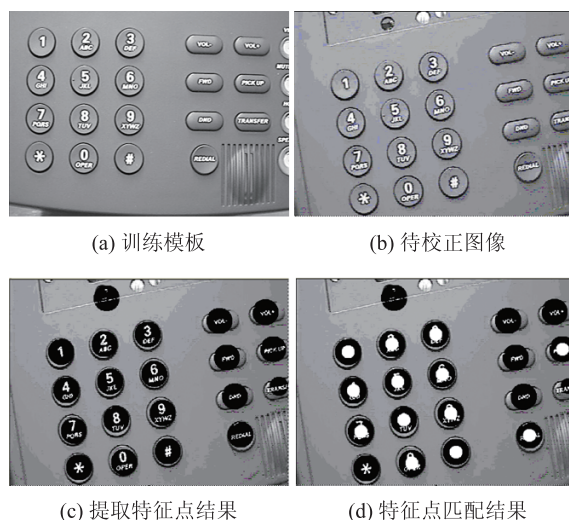


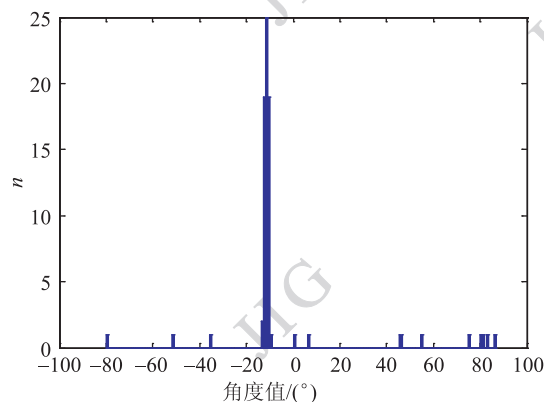
图 4 特征点提取及匹配结果

Fig. 4 Results of feather point extraction and matching

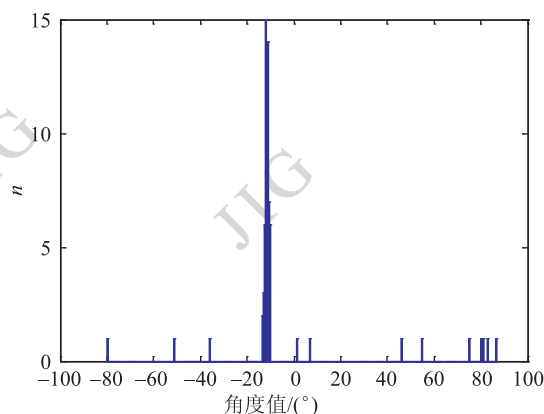
2) 对图 4(b) 进行步骤 1) 操作, 结果如图 4(c) 所示, 每个黑色区域的圆心就是特征点(图像较小不便直接标出), 黑色区域为进行特征提取的区域。可以看到, 图像的最上面出现了一个干扰点, 所以特征点和特征向量各为 20 个。同样也将得到的特征点信息保存成一个链表。

然后, 两个链表的特征点进行双向特征匹配, 得到 13 个匹配点(匹配点对), 在图 4(d) 中用白色圆点标出。必须指出的是, 在 13 个匹配点中有可能存在误匹配。将这 13 个匹配点两两相连, 得到 78 条直线, 对应图 4(a) 中也得到 78 条直线, 用式(1) 计算得到 78 个 θ 值。取区间大小 $\Delta = 1^\circ$, 对这 78 个 θ 值进行角度分布统计, 结果如图 5(a) 所示。

图5(b)为取 $\Delta = [\max(\theta) - \min(\theta)]/360^\circ$ 的分布图, $\max(\theta) = 86^\circ$, $\min(\theta) = -80^\circ$, 即角度划分区间是 0.46° 。



(a) 角度划分间隔为 1° 时的角度分布图

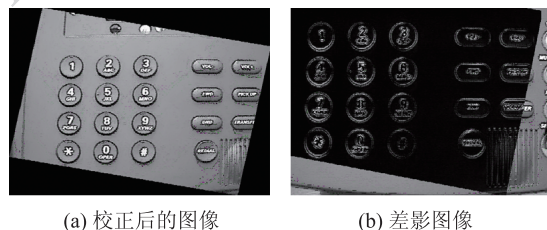


(b) 角度划分间隔为 0.46° 时的角度分布图

图5 θ 角的分布图

Fig. 5 Distribution of angle θ

对落在最大值区间及其正负 1° 邻域内的 θ 值求平均, $\bar{\theta} = -11.45^\circ$ 。取图像倾斜角度 $\varphi = -11.45^\circ$, 对图像进行倾斜校正, 结果如图6(a)所示。因为实验时取图像的左上角为原点, 所以图像顺时针转动为正, 逆时针为负。



(a) 校正后的图像

(b) 差影图像

图6 校正后的图像及差影图像

Fig. 6 Corrected image and subtracted image

将校正后的图像平移(平移量可由式(4)计算得到), 与图4(a)做差影(对应像素值相减)的结果如

图6(b)所示。可以看出, 校正之后的偏差非常小, 不能完全对准是因为图4(b)本身存在几何畸变。

为证明本文算法设计的圆形模板网格前景点分布特征, 进行以下两步实验, 通过性能分析来验证本文算法的整体稳健性。

1) 分别用 HU 矩不变量与提出的圆形模板网格特征作为特征点的特征, 进行双向匹配, 分析特征匹配率, 以验证提取特征的性能, 从而说明本文算法在特征匹配环节的稳健性。

提取每一个按键的 7 个 HU 矩不变量的前 3 个 φ_1 、 φ_2 、 φ_3 , 用式(5)作为相似性测度, 进行双向最大相似匹配。

$$\eta_{ik} = 1 - \frac{|\varphi'_{jk} - \varphi_{ik}|}{\varphi_{ik}} \quad (7)$$

式中, φ_{ik} 是模板中第 i 个按键的第 k 个矩不变量, φ'_{jk} 是待检测图中第 j 个按键的第 k 个矩不变量, 以特征点为中心, 划定一个特征提取区域(黑色区域)进行矩不变量的计算, 图7(a)(b)(c)分别是单独使用一阶 HU 矩不变量、二阶 HU 矩不变量、三阶 HU 矩不变量进行双向匹配的结果。匹配上的点用白色圆点表示。



(a) 一阶HU矩

(b) 二阶HU矩



(c) 三阶HU矩

图7 HU 矩为特征的匹配情况

Fig. 7 Matching results using HU moment

从图7可以看到, 用矩不变量进行匹配的匹配点比图4(d)所示的本文算法的提取方法匹配点略少。且算法不一定是正确的匹配。对实验数据进行分析发现图7(a)中 10 个匹配点有 5 个是正确匹配, 图7(b)中 10 个匹配点有 4 个是正确匹配, 图7(c)中 12 个匹配点只有 4 个是正确匹配。

选取 30 幅同一对象(上述按键图像)但光照不同(侧光、直射光、或白天时无人造光源的自然光),

倾斜角度从 -15° 到 $+15^\circ$,尺度略有变化,由于摄像机镜头原因所造成的边缘有不同程度的轻微畸变图像进行测试,表1给出了具体匹配情况。

表1 使用不同特征进行双向匹配的匹配结果
Table 1 Results of bidirectional matching
by different characteristics

	一阶矩	二阶矩	三阶矩	本文特征
匹配对	11.6	11.2	10.4	13.3
正确匹配	4.3	4.2	3.7	10.4
正确匹配率/%	37.1	37.5	32.7	78.2
角度检测正确率/%	40	33.3	26.7	100

从表1可以看出,无论是匹配点对个数还是正确匹配率,本文算法特征结果都比HU矩特征高。HU矩特征依赖于中心点的准确定位,当定位不准

确时,HU矩的值变化的相对数值较大。尤其是在图像较小时,两个不同目标之间HU矩的值变化就较小,则定位不准确造成的误差对HU矩特征匹配造成的影响就更大。而本文算法虽然也要用到中心点,但是对其依赖性并不强,中心点定位误差对最大相关系数的影响相对较小。

2)在匹配率不同,尤其是匹配率较低的情况下,测试本文算法是否还有效,以验证大数原理的提高稳健性上的作用。

使用本文设计的特征,选取不同质量的图像,以获得不同的特征匹配率。图8为不同匹配率下的角度分布图,以此说明大数原理的作用。

从图8也可以看到,使用角度分布最大区间检测法,即使是在正确匹配率较低的情况下,还获得了一定的角度检测正确率。

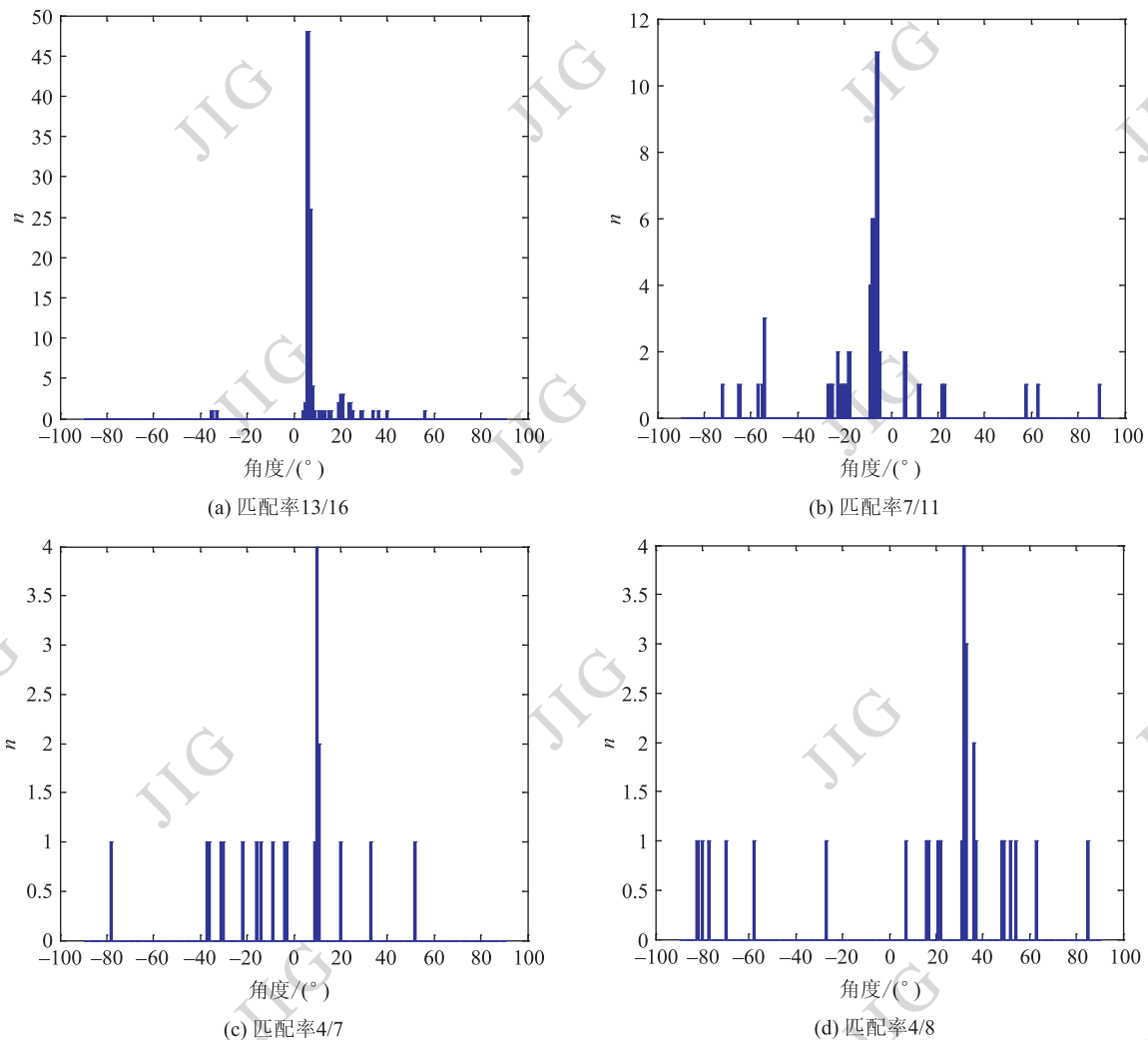


图8 不同匹配率下的 θ 角分布图

Fig. 8 Distributions of angle θ with deferent match rate

图 8(a) 是 16 个匹配点中, 有 13 个是正确匹配的情况下的角度分布图; 图 8(b) 是 11 个匹配点中有 7 个是正确匹配的角度分布图; 图 8(c) 是在匹配点较少, 只有 7 个, 且只有 4 个是正确匹配的角度分布图; 图 8(d) 是倾斜角度较大 (31°) 时匹配点只有 8 个且只有 4 个是正确匹配的角度分布图。实验结果表明, 在匹配点数大于 4 点且匹配率大于 50% 时, 结合角度分布图法, 本文算法能获得 100% 的正确检测率。

3) 不同图像的适用性

为验证本文算法对不同图像的适用性, 用图 9(a)(b) 进行实验。图 9(a) 是用于训练的不倾斜图像, 用 SUSAN 算法提取图像角点作为特征点, 提取圆形网格前景点分布特征 (黑点作为前景点)。为了减小计算量, 只选取图像中 4 个二值化矩形区域进行特征点和特征提取。对图 9(b) 进行倾斜校正, 结果如图 9(c) 所示。由图 9 可看出, 本文算法对不

同图像有较好的适应性, 对复杂图像也能正确检测。且本文算法适用于特征点较少、分布较分散的情况, 否则计算量较大。所以在进行特征点提取时要进行筛选。这也是本文算法最大的特点: 在图像特征不明显、匹配率不高的情况下, 可以适当增加特征点数量, 提高稳健性; 在特征点明显、匹配正确率高的情况下, 可以大量减少特征点的数量, 最少可以减至两个, 直接计算两条直线的夹角得出倾斜角度。此时, 算法的计算量将大大减小, 这种情况在实际运用中, 结合先验知识, 往往是可以实现的。如图 9 实验, 可以选取左下角的按键和右下角的按键, 如图 9(d) 所示, 提取两个特征非常明显的特征点, 检测时, 根据倾斜的程度, 在左下角和右下角设定两个搜索窗口搜索这两个特征点, 而不用全图搜索。由于特征明显, 且窗口内特征点数量较少, 可获得非常高的匹配率, 通过这两点的连线, 即可检测出图像的倾斜角度, 图 9(d) 为校正的结果。

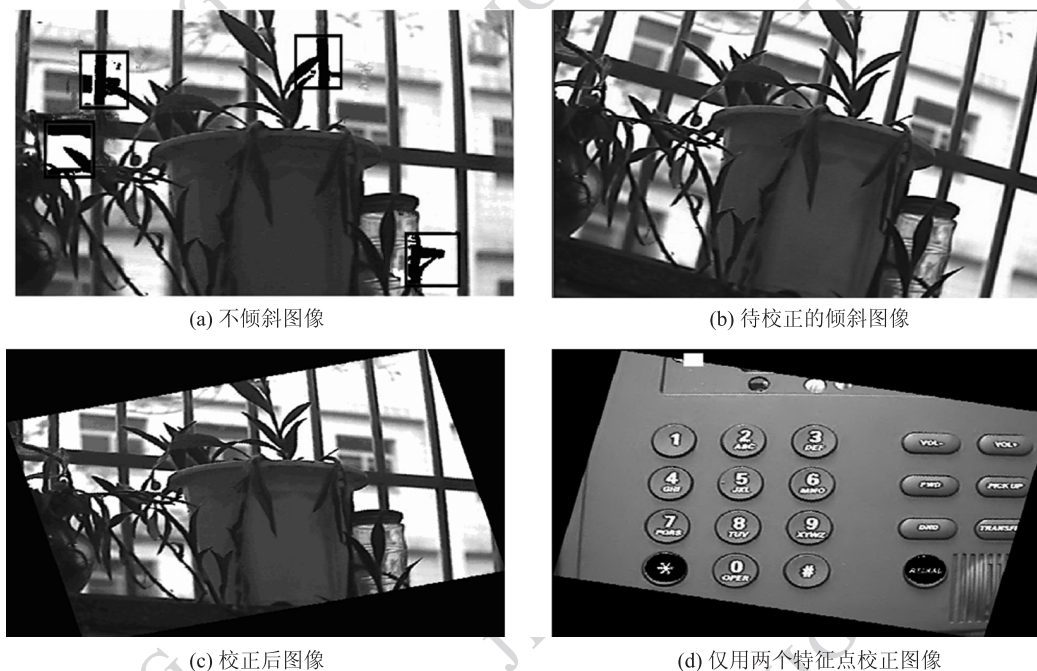


图 9 不同图像的校正结果

Fig. 9 Calibration results of different images using the proposed algorithm

4 结 论

介绍了一种通过提取特征点, 利用特征点自行构造直线来检测图像的倾斜角度的算法, 实验表明本文算法实用有效且具有稳健性。利用角度分布统

计, 寻找最大值区间的方法, 排除了误匹配点对结果的影响, 提高了算法稳定性, 提取的特征点数量越多, 算法的稳定性越好, 同时计算量也越大。反之, 如果要减小计算量, 可以通过限制特征点数量, 最多可以将特征点减至两个, 应用中可根据图像特点折中选择。由于直方图统计时依赖于角度区间的划

分,因此,角度检测的精度不高,仅适用于对精度要求不高的场合。如果要求高精度的图像配准,可由直方图的结果剔除误匹配点后,再用标准的图像配准方法进一步优化求解。

参考文献 (References)

- [1] Hinds S C, Fisher J L, Amato D P D. A document skew detection method using run-length encoding and the Hough transform [C]//Proceedings of the 10th International Conference on Pattern Recognition. Los Alamitos, Calif.: IEEE Computer Society, 1990:464-468.
- [2] Rehman A, Saba T. Document skew estimation and correction: analysis of techniques, common problems and possible solutions [J]. Applied Artificial Intelligence, 2011, 25(9):769-787.
- [3] Illingworth J, Kittler J. A survey of the hough transform [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1988, 44(1):87-116.
- [4] Singh C, Bhatia N, Kaur A. Hough transform based fast skew detection and accurate skew correction method [J]. Pattern Recognition, 2008, 41(12):3528-3546.
- [5] Arvind K R, Kumar J, Ramakrishnan A G. Entropy based skew correction of document images [C]//LNCS. Berlin, Germany: Springer, 2007:495-502.
- [6] Ávila B T, Lins R D. A fast orientation and skew detection algorithm for monochromatic document images [C]//The 2005 ACM Symposium on Document Engineering. Bristol, United Kingdom: HP Digital Media Lab, 2005:118-126.
- [7] Saragiotis P, Papamarkos N. Local skew correction in documents [J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2008, 22(4):691-710.
- [8] Atallah M A, Omar K. Skew detection and correction technique for Arabic document images based on centre of gravity [J]. Journal of Computer Science, 2009, 5(5):363-368.
- [9] Wang X J, Wang Y, Li Z. Fast target recognition and tracking method based on characteristic corner [J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(2):360-364.
- [10] Liu G X, Liu D M, Liu F P, et al. A robust image registration algorithm based on feature points matching [J]. Acta Optica Sinica, 2008, 28(3):444-461. [刘贵喜, 刘冬梅, 刘凤鹏, 等. 一种稳健的特征点配准算法 [J]. 光学学报, 2008, 28(3):444-461.]
- [11] Wei Z Q, Huang L, Ji X P. Research on sequence image matching based on point Feature [J]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(3):526-530. [魏志强, 黄磊, 纪筱鹏. 基于点特征的序列图像匹配方法研究 [J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(3):526-530.]
- [12] Xu W, Zhang M J, Xiong Z H, et al. A matching method of feature point based on bidirectional maximal correlation and parallax restriction [J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(28):155-157. [徐玮, 张茂军, 熊志辉, 等. 基于双向最大相关与视差约束的特征点匹配 [J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(28):155-157.]
- [13] Zitov'a B, Flusser J. Image registration methods: a survey [J]. Image Vision Computer, 2003, 21(11):977-1000.
- [14] Wyawahare M V, Patil P M, Abhyankar H K. Image registration techniques: an overview [J]. International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, 2009, 2(3):11-28.
- [15] Peng W. Medical Image registration based-on points, contour and curves [C]//Proceedings of International Conference on Biomedical Engineering and Informatics. Sanya, Hainan, China: Tianjin University of Technology, 2008:132-136.
- [16] Samritjarapon O, Chitsobhuk O. An FFT-based technique and best-first search for image registration [C]//International Symposium on Communications and Information Technologies. KHU, Japan: Tokai University, 2008:364-367.
- [17] Flusser J, Suk T. A moment-based approach to registration of images with affine geometric distortion [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1994, 32(2):382-387.
- [18] Daniel J B, James V M. Atlas stratification [J]. Medical Image Analysis, 2007, 11(5):443-457.
- [19] Maes F, Vandermeulen D, Suetens P. Comparative evaluation of multiresolution optimization strategies for multimodality image registration by maximization of mutual information [J]. Medical Image Analysis, 1999, 3(4):373-386.
- [20] Zhang J, Ge Y, Ong S H, et al. Rapid surface registration of 3D volumes using a neural network approach [J]. Image and Vision Computing, 2008, 26(2):201-210.
- [21] Chow C K, Tsui H T, Lee T. Surface registration using a dynamic genetic algorithm [J]. Pattern Recognition, 2004, 37(1):105-117.
- [22] Zhang S H, Shen X R, Fan Y Z. Method in image's feature extraction and matching [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2008, 34(5):33-36. [张少辉, 沈晓蓉, 范耀祖. 一种基于图像特征点提取及匹配的方法 [J]. 北京航空航天大学学报, 2008, 34(5):33-36.]