

Journal of Image
and Graphics

中国图象图形学报



ISSN1006-8961
CN11-3758/TB

2012 **3**
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所
中国图象图形学学会主办
北京应用物理与计算数学研究所

中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年3月 第17卷 第3期(总第191期)

目次

图像处理和编码

- 摄影测量共线方程的单位四元数描述 杨化超,卢晓攀,王永波,姚国标(301)
- 分形压缩感知高维信号重构方法 刘佶鑫,孙权森(309)
- 自适应子矢量划分的快速码字搜索算法 吴鑫鹏,潘志斌,李达(315)
- 基于人类视觉模型的各向异性扩散滤波方法 宋建军,侯志强,余旺盛(321)
- 整数提升小波多相矩阵分解系数的快速提取算法 王锋,赵志文,牟盛(329)
- 自适应样本块大小的图像修复方法 孟春芝,何凯,焦青兰(337)

图像分析和识别

- 改进FCM在交互式图像分割中的应用 依玉峰,高立群,郭丽(342)
- 输电导线图像目标识别方法 孙凤杰,杨镇浓,李媛媛,范杰清(349)
- 无表观特征小目标检测与跟踪 陶霖密,李亮,邸慧军(357)
- 应用改进频率调谐的海上小目标检测方法 任蕾,施朝健,冉鑫(365)
- 视觉注意原理局部特征的行人检测 刘俊涛,刘文予,吴彩华,李雄伟,冯镔(370)
- 尺度不变单样本人脸识别方法 王炜强,张晓阳,曹春芹,付奎生(380)
- 复杂交通场景中采用稀疏表示的车辆识别方法 李修志,吴健,崔志明,陈建明(387)
- 利用复合导数的边缘检测新算法 程金梅,叶永强,姜斌(393)

图像理解和计算机视觉

迭代分割逼近:新的基于局部响应显著度的角点检测 马丽红,谭幸均(402)

融合 SIFT 特征的熵图估计医学图像非刚性配准 张少敏,支力佳,赵大哲,林树宽,赵宏(412)

计算机图形学

面向非均匀采样点集的 3 维表面重建算法 刘晓平,段瑞青,余烨(419)

基于可编程图形管线的大规模流程工厂模型多分辨率绘制方法 周剑,唐卫清,朱耀琴,夏明,黄晓剑(426)

带有位置修正的环境映射 王晨昊,汤晓安,孙即祥,马伯宁(435)

遥感图像处理

海岸线遥感信息提取的元胞自动机方法及其应用 冯永玖,韩震(441)

中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 3 期

2012 年 3 月 16 日出版

主管单位 中国科学院

主 办 中国科学院遥感应用研究所

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

北京 9718 信箱 邮编 100101

电子信箱:jig@irsa. ac. cn

电话:010-68407995 010-82614429

网 址:www. cjig. cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 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)

(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,
CAS China Society of Image and Graphics
Institute of Applied Physics and Computational
Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board
of Journal of Image and Graphics
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)
E-mail:jig@irsa. ac. 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, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 3 March 2012

Contents

Image Processing and Coding

- Unit quaternion based description of collinearity equations Yang Huachao, Lu Xiaopan, Wang Yongbo, Yao Guobiao(301)
- Fractal compressive sensing for high-dimension signal recovery Liu Jixin, Sun Quansen(309)
- Fast codeword search algorithm based on adaptive subvector partitions Wu Xinpeng, Pan Zhibin, Li Da(315)
- Anisotropic diffusion image smoothing method based on human visual model Song Jianjun, Hou Zhiqiang, Yu Wangsheng(321)
- Fast extraction algorithm of the polyphase matrix decomposition coefficient based integer lifting wavelet
..... Wang Feng, Zhao Zhiwen, Mou Sheng(329)
- Image completion method with adaptive patch size Meng Chunzhi, He Kai, Jiao Qinglan(337)

Image Analysis and Recognition

- Application of improved FCM for interactive image segmentation Yi Yufeng, Gao Liqun, Guo Li(342)
- Methods of transmission line target recognition Sun Fengjie, Yang Zhenhuan, Li Yuanyuan, Fan Jieqing(349)
- Featureless small object detection and tracking Tao Linmi, Li Liang, Di Huijun(357)
- Small target detection method under sea surface environment using revised frequency tuned saliency detection
..... Ren Lei, Shi Chaojian, Ran Xin(365)
- Pedestrian detection method using local feature based on vision attention
..... Liu Juntao, Liu Wenyu, Wu Caihua, Li Xiongwei, Feng Bin(370)
- Scale invariant face recognition from single sample Wang Weiqiang, Zhang Xiaoyang, Cao Chunqin, Fu Kuisheng(380)
- Sparse representation method of vehicle recognition in complex traffic scenes
..... Li Xiuzhi, Wu Jian, Cui Zhiming, Chen Jianming(387)
- Novel edge detection algorithm using a composite derivative Cheng Jinmei, Ye Yongqiang, Jiang Bin(393)

Image Understanding and Computer Vision

- Iterative segment approaching: new corner detection based on local response saliency Ma Lihong, Tan Xingjun(402)
- Entropic graph estimation integrated with SIFT features for medical image non-rigid registration
..... Zhang Shaomin, Zhi Lijia, Zhao Dazhe, Lin Shukuan, Zhao Hong(412)

Computer Graphics

- Three-dimensional surface reconstruction algorithm for non-uniform sampling points Liu Xiaoping, Duan Ruiqing, Yu Ye(419)
- Multi-resolution rendering approach of large-scale process plant models based on programmable graphics pipeline
..... Zhou Jian, Tang Weiqing, Zhu Yaoqin, Xia Ming, Huang Xiaojian(426)
- Environment mapping with position rectification Wang Chenhao, Tang Xiao'an, Sun Jixiang, Ma Boning(435)

Remote Sensing Image Processing

- Cellular automata approach to extract shoreline from remote sensing imageries and its application
..... Feng Yongjiu, Han Zhen(441)

中图法分类号: TP391.41 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)03-0380-07

论文引用格式: 王炜强, 张晓阳, 曹春芹, 付奎生. 尺度不变单样本人脸识别方法 [J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(3): 380-386

尺度不变单样本人脸识别方法

王炜强, 张晓阳, 曹春芹, 付奎生

中国空空导弹研究院, 洛阳 471009

摘要: 人脸识别是近年来图像处理、模式识别等领域的研究热点,但其面临的小样本空间、图像旋转、尺度变化等难题一直制约着人脸识别技术的发展与应用。为此,提出一种针对单样本人脸识别,提取尺度不变特征和样本脸进行匹配的识别方法:通过提取并匹配人脸图像的尺度不变特征得到特征点匹配关系,用以估计和校正图像间的旋转、尺度变化,并得到相对输入人脸图像尺度、旋转不变的样本脸,再使用子区域归一化互相关算法快速计算样本脸与输入图像之间的匹配程度,最后基于联合判决器综合特征点、样本脸两级匹配置信度综合判定识别结果。该方法有效结合了 SIFT 尺度不变特征对于旋转、尺度和光照变化稳定不变的优势,对于弱纹理图像也能够有效识别,具有较强的鲁棒性和适应性。

关键词: 尺度不变特征;图像校正;样本脸;归一化互相关;人脸识别

Scale invariant face recognition from single sample

Wang Weiqiang, Zhang Xiaoyang, Cao Chunqin, Fu Kuisheng

China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China

Abstract: Face recognition has been always a hot spot in image processing and pattern recognition. However, problems, such as small samples, rotation, and scale changes, always restrict its development. In this paper, a scale invariant feature and template based method is proposed to achieve recognition upon a single face sample. First, scale invariant features are extracted and matched to obtain feature-level correspondence between faces, upon which rotation and scale variances between faces can be estimated and rectified for invariant templates. Then a sub-region based zero mean Normalized Cross-Correlation (ZNCC) method will be adopted to acquire region-level correspondences between the templates and rectified faces. Finally, a joint judgment will be made according to both feature-level and region-level correspondences between faces. This method is feasible and robust not only to rotation, scale and illumination variance, but also to low texture.

Key words: scale invariant feature; rectification; template; ZNCC; face recognition

0 引言

人脸识别技术是近年来机器视觉、计算机科学等领域的研究热点。现有主流的人脸识别方法通常首先提取人脸图像局部特征或全局统计特征,构建人脸模型或将特征参数化,再使用数学方法降维计

算与样本的差异性,或迭代训练分类器进行分类判别,从而完成人脸识别^[1]。

常用的人脸识别方法包括使用主分量分析 (PCA) 的 Eigenface 方法^[2]、使用线性判别分析 (LDA) 的 Fisherface 方法^[3]、基于弹性图匹配 (EBGM)^[4]等,此外还有基于 3D 人脸模型或 3 维人脸重建的方法^[5]。使用 PCA 的 Eigenface 方法相对

收稿日期:2011-01-13;修回日期:2011-06-15

第一作者简介:王炜强(1985—),男,助理工程师,2010年于浙江大学获信息与通信工程专业硕士学位,主要研究方向是红外制导、计算机视觉、模式识别、控制等。E-mail:alecwong@zju.edu.cn

简单、适用于小样本识别,但其依赖于整个样本集,对图像旋转、视角及光照变化适应性较差;而 LDA 方法仅在各类训练样本较多时表现才优于 PCA 方法^[6],且同样易受图像旋转、视角及光照变化的影响;EBGM 方法一定程度上体现了人脸 3 维信息,能够适应一定的图像视角及位姿变化,但其计算量过大;而基于 3D 模型的方法则需要基于多幅图像或视频序列,通常难以通过单幅样本图像得到精确 3 维信息。而针对单样本人脸识别的需求,在上述方法的基础之上出现了众多改进方法^[7]:如 $(PC)^2A$ ^[8] 和 $E(PC)^2A$ ^[9] 方法,使用图像的水平 and 垂直方向投影提取人脸显著特征信息用以改善传统 PCA 方法对单样本人脸识别的效果,但其仍无法根本改变 PCA 方法易受图像旋转、视角及光照变化影响的问题;基于图的 SSDR 方法可一定程度解决 LDA 方法无法应用于单样本人脸识别的问题^[10],但仍需较多样本进行数据结构估计,且常用的基于最近邻准则构建局部数据几何关系的方法难以适用于高维度人脸空间,而其改进后的 SPDA 方法采用稀疏矩阵构建图并能够自适应构建局部数据结构,可显著提高小样本人脸识别效果^[11],但其整体效果依然有待改进;基于局部特征点的方法,如 DCP^[12],使用局部特征点及其与相邻特征点关系提高算法效率和对光照变化的鲁棒性,但对于特征点提取和定位要求较高,当强光照射或表情变化引起特征点相对关系改变时效果明显下降;基于局部区域特征的方法,如通过构建局部概率子空间^[13]来克服遮挡和表情变化对单样本人脸识别的影响,但该方法的计算成本随着人脸测试数据的增多而急剧增加;而基于多视角综合的方法^[14]基于先验知识和预先获取的多视角人脸图像建立通用的人脸 3D 模型,用以对输入的 2D 单幅人脸图像提取纹理和姿态不变特征并完成识别,该方法可针对单幅图像输入解决图像旋转对识别的影响,但需要较多先验知识。此外,基于多种信息联合解决单样本人脸识别问题的方法也同样引人注目,如基于特征点和特征区域的 Analytic-to-holistic^[15]方法,通过定位脸部的 15 个特征点并结合头部模型估计人脸旋转情况并通过几何变换完成与样本人脸特征点的匹配,再根据面部器官特征区域与样本人脸对应区域的相关性判断匹配结果;该方法能够解决旋转和姿态的影响,但该方法仍无法圆满解决遮挡和尺度变化等问题。因此,对于单样本人脸识别本问题,可另辟蹊径,考虑提取图

像的稳定不变特征用于人脸的识别,既无须较多先验知识和模型,又可提高对光照、表情、姿态及尺度变化的鲁棒性,还可结合部分区域特征信息提高算法对弱纹理图像的适应性。

另一方面,近年来对于稳定不变特征的研究取得了较大进展,为提取人脸稳定特征,解决旋转、尺度及视角变化提供了新的思路。而其中尤以 SIFT 算法为典型代表^[16],SIFT 算法能够提取图像尺度不变特征,并可以处理两幅图像之间平移、旋转、仿射变换情况下的匹配问题,对光照变化和噪声也具有较好鲁棒性。现有基于 SIFT 的人脸识别方法通常单一使用 SIFT 算子提取的尺度不变特征,通过特征匹配判定人脸识别结果^[17-18],此类方法较少受旋转、尺度等变化影响,但很少使用人脸固有的特征信息,且对于低分辨率或弱纹理图像难以提取足够特征以有效完成识别。因此,将提出一种综合 SIFT 特征和尺度不变样本脸的人脸识别方法,以有效应对旋转、尺度等变化,并能够适用于低分辨率单样本人脸的识别。

1 人脸图像预处理

人脸识别中的光照和位姿变化是影响识别率的主要因素。不同角度和强度的光照会造成图像间对应匹配点的对比度改变,从而影响尺度不变特征的提取和匹配,同时也会直接改变人脸图像的取值。因此对人脸图像先进行预处理以调节补偿图像间的光照差异。首先使用直方图均衡进行光照补偿;对于光照极度不均匀的情况,可选用同态滤波,将低频光照与高频反射光分开处理,从而保证人脸图像光照的均匀一致性。

2 基于特征点的人脸匹配

2.1 SIFT 特征提取与匹配

David 于 2004 年提出了 SIFT 算法 (scale invariant feature transform)^[16]:首先计算尺度空间的高斯差分图像,搜索相邻尺度和邻域范围内的极值点作为候选特征点;接着通过 3 维二次拟合确定候选点所在的位置和尺度,并去除低对比度点和边缘点;再计算特征点梯度方向和模值;最后统计特征点邻域内 4×4 个子区域的方向信息,各子区域用 8 维方向向量描述,用以统计区域内像素

相对于特征点梯度的相对方向,从而形成 128 维的特征向量,并实现了特征点的尺度和方向不变性。图 1 为从人脸图像提取的 SIFT 特征点的位置、梯度方向和模值。



图 1 ORL 人脸库图像的 SIFT 特征点

Fig. 1 Sift keypoints of ORL face samples

对于样本人脸的每个 SIFT 特征,使用基于 $k-d$ 树的近似最近邻算法搜索待测人脸中与其特征向量欧式距离最近的两个待选特征,如果其中的最近距离与次近距离比值低于门限,则认为这对特征匹配。降低该门限,SIFT 匹配特征数目会减少,但更加稳定;基于人脸图像测试,发现该比值门限在 0.5 附近时,匹配效果总体最优。对于匹配结果再使用 RANSAC 和极线约束去除误配,如图 2 所示,其中白色线条表示误匹配特征的连线。

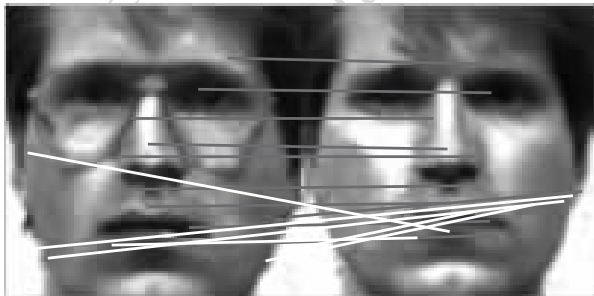


图 2 RANSAC 方法去除误匹配

Fig. 2 Removed mismatches by RANSAC

2.2 基于 SIFT 特征点的人脸匹配

特征层人脸匹配的基本思路是同一人脸的不同图像应当具有更相似的公共特征,由于 SIFT 特征对旋转、尺度、光照及视角变化都具有较好的稳定不变性,因此可以通过 SIFT 特征匹配找到单人

脸样本在不同图像中的稳定公共特征,从而实现人脸的匹配识别。基于 SIFT 特征层面的人脸匹配有两种基本策略:基于距离的策略和基于匹配率的策略。

基于距离的策略主要考虑匹配人脸图像对应 SIFT 特征点的特征向量应具有较小的距离,但由于特征向量的离散性,采用各匹配特征的平均欧式距离描述人脸整体相似性效果并不明显,故使用各匹配特征距离中的最小值表征人脸整体相似性;基于匹配率的策略主要考虑匹配的人脸图像一般应具有较多匹配特征,因此可根据图像中匹配特征占总特征数的比例判定两幅人脸的匹配程度。经过基于 ORL、Yale 人脸图像库的测试(如图 3 所示),可以得出采用基于匹配率策略更优。

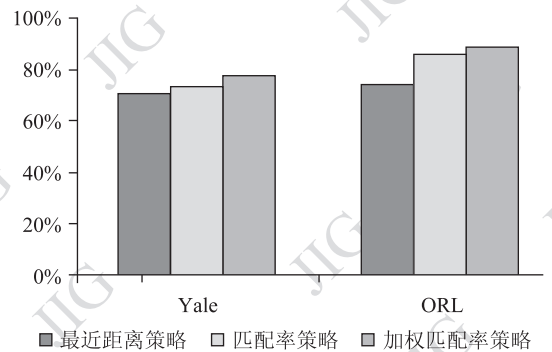


图 3 基于 SIFT 特征的人脸匹配策略识别率比较

Fig. 3 Comparison of SIFT based face matching strategies

而实际中人脸不同区域的特征对人脸匹配程度的贡献不同,人脸中心区域的特征不易受遮挡、视角变化的影响且更能反映人脸特有的五官形状和分布特征,因此在匹配率计算中应给予更高权重。这里设计类似巴特沃兹滤波器的权重函数抑制人脸图像边缘特征在匹配中的影响,具体如下:

$$w_j = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{d_j}{r_{\max}}\right)^{10}\right)^8} \quad (1)$$

式中, d_j 为第 j 个特征点距离人脸图像中心的距离, r_{\max} 为脸区域的最大半径。

待测人脸与第 id 个样本的匹配置信度为

$$Match_{feature}^{id} = \frac{\sum_{j=1}^m w_j}{\min(n_i, n_{id})} \quad (2)$$

式中, n_i 为待测人脸的特征数, n_{id} 表示序号为 id 的人脸样本的特征数, m 为匹配特征数。

经试验验证, 该策略可进一步提高特征匹配率与人脸匹配的相关程度, 具体匹配结果见图3。

3 基于单样本人脸的人脸匹配

3.1 人脸图像校正

基于 SIFT 算法的特征层人脸匹配主要依据离散特征, 难以全面反映人脸信息, 且对于低对比度或弱纹理图像, 难以提取足够数量的 SIFT 特征来准确进行人脸匹配, 因此基于提取的 SIFT 特征计算图像区域互相关性并进行人脸区域层匹配可以弥补特征层匹配方法对于弱纹理或低分辨率人脸图像的不足。

为提高区域匹配方法对于图像尺度变化的适应性, 首先对人脸图像的尺度进行粗调整。已知样本人脸与待测人脸的 SIFT 匹配点集合 $m_i^i \leftrightarrow m_i^i$, 通过随机抽取其中 n 个 SIFT 特征点计算两幅图像中对应特征点间隔距离的比例关系, 用以估计图像尺度关系, 具体如下:

$$ratio = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{distance(m_i^i, m_i^{i+1})}{distance(m_i^i, m_i^{i+1})} \quad (3)$$

根据式(3)计算的图像尺度关系将输入图像与样本图像进行双线性插值并粗调整到相近的尺度; 接着通过图像校正, 使输入人脸图像与样本图像的对极线平行, 从而消除旋转和仿射变换影响, 图像校正输入的匹配特征点集合为 $m_i^i \leftrightarrow m_i^i$, 其中 m_i^i 为 m_i^i 的图像坐标按式(3)的比例系数缩放后的图像坐标; 再根据校正结果对校正后图像进行插值计算从而保证输入待测人脸与样本人脸大小一致、去除尺度差异。

传统校正方法基于欧式几何, 需要先对相机进行精确标定, 不适合应用于不含标定信息的人脸图像。因此, 在保证近似校正效果的前提下, 使用文献[19]的自标定校正方法计算相机参数并实现图像校正, 该方法求解原图像到校正后图像的直射变换实现校正。校正后极线方向 $e = (1, 0, 0)$, 基础矩阵是 e 的反对称矩阵:

$$[e]_{\times} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

设 H_1 、 H_r 为校正直射变换的单应矩阵, 校正后满足极线约束 $m_r^T F m_1 = 0$ 可得:

$$(H_r m_r^i)^T [e]_{\times} (H_1 m_1^i) = 0 \quad (5)$$

将所有匹配点代入式(5)得到关于 H_1 和 H_r 非线性方程组, 可用 Sampson 误差估计几何投影误差。已知原图像基础矩阵 $F = H_r^T [e]_{\times} H_1$, 设 $e' = (0, 0, 1)$, 则此对应点的 Sampson 误差为

$$E_s^i = \frac{(m_r^{i,T} F m_1^i)^2}{\| [e']_{\times} F m_1^i \|^2 + \| m_r^{i,T} F [e']_{\times} \|^2} \quad (6)$$

到无穷远平面校正直射变换的单应矩阵为

$$\begin{aligned} H_r &= K_m R_r K_{or}^{-1} \\ H_1 &= K_m R_1 K_{ol}^{-1} \end{aligned} \quad (7)$$

式中, K_{ol} 、 K_{or} 表示相机参数矩阵的初始值, K_m 、 K_r 表示新的参数矩阵并可任意设定。由于每个单应矩阵依赖于 5 个相机内部参数以及 3 个旋转参数, 基础矩阵可表示为

$$F = K_{or}^{-1} R_r^T [e]_{\times} R_1 K_{ol}^{-1} \quad (8)$$

这里, 旋转矩阵 R_1 、 R_r 可以分别用 3 个方向的角度值表示, 而近似将左相机绕 X 轴的旋转设为 0, 则可用剩下 5 个角度值表示 R_1 、 R_r 。此外, K_{ol} 、 K_{or} 可通过近似假设相机参数无偏斜、中心无偏移、成像宽(w)高(h)比相同来减少未知参数, 剩下唯一未知参数 f , 可得

$$K_{or} = K_{ol} = \begin{bmatrix} f & 0 & w/2 \\ 0 & f & h/2 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

因此, F 矩阵可用 6 个未知参数表示: 5 个角度值和焦距 f 。代入目标式(6), 所有待求参数初始值为 0, 使用 LM 算法求 $E_s^i = 0$ 的最小二乘解, 并可认为 $f \in [1/(3(w+h)), 3(w+h)]^{[20]}$ 。若设 $f' = \log_3(f/(w+h))$, 则 $f' \in [-1, 1]$, 实际可根据 f 的范围进一步缩小 f' 的估计区间。

最后, 计算能够容纳两幅校正后图像的最小区域(含两幅图像的重叠区域), 并按区域长、宽分别与图像长、宽比值的最小值为缩放比例, 使用双线性插值将校正后图像进行尺度变化, 从而得到去除旋转、尺度变化的校正后待测人脸图像, 具体如图4所示, 样本人脸分辨率为 150×150 , 输入待测人脸分辨率为 100×100 , “+”表示特征点位置; 粗调整以及校正后的样本、待测人脸如图4所示, 图4(d)(f)中的线条表示校正前后外极线。截取校正后图像的有效公共区域即得到尺度不变样本脸和对应该校正后的待测人脸。

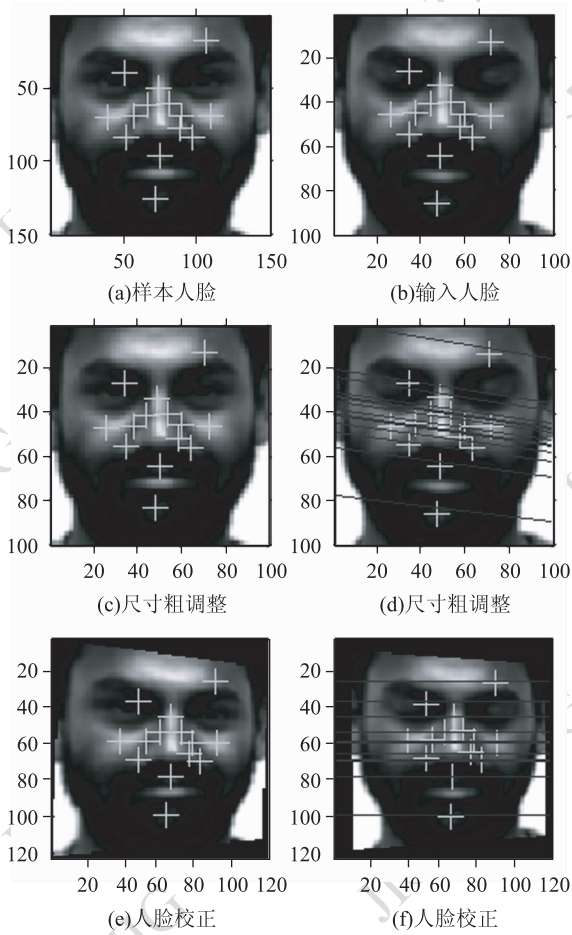


图 4 人脸图像校正效果

Fig. 4 Face rectification results

3.2 互相关性计算与样本脸区域匹配

校正后的人脸样本图像与待测图像去除了相互间的旋转、尺度变化,因此可以得到旋转尺度不变的样本脸;以两幅人脸中每个完成匹配的 SIFT 特征点 j 为中心计算邻域窗口范围内的零均值归一化互相关性 (ZNCC)

$$Corr_j = \frac{\sum_{u,v} (f_{uw} - \bar{f})(t_{uw} - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{u,v} (f_{uw} - \bar{f})^2} \sqrt{\sum_{u,v} (t_{uw} - \bar{t})^2}} \quad (10)$$

$$u, v \in [-N, N]$$

其值域为 $[-1, 1]$;再根据式(1)计算的各特征点权重将各子区域互相关性进行加权得到整幅人脸区域的匹配置信度

$$Match_{template}^{id} = \frac{\sum_{j=1}^m w_j Corr_j}{m} \quad (11)$$

其中窗口尺寸 $(2N+1)$ 可根据图像纹理情况选

择,图像纹理丰富的情况下可适当减小以充分利用人脸细节特征,反之弱纹理情况下可适当放大,通常可选择为输入人脸图像尺寸的 20% 左右(即当人脸图像为 100×100 时子区域窗口可选为 20×20)。

4 人脸匹配联合判决器

基于 SIFT 的特征层人脸匹配可以有效提取人脸图像间的旋转、尺度不变特征及其对应关系,对光照和视角变化也具有一定适应性,而基于子区域归一化互相关性的区域层人脸匹配通过尺度调整与图像校正实现对于输入待测人脸旋转、尺度变化的适应,并能够有效弥补弱纹理或低分辨率图像难以提供足够特征进行区域层匹配的不足,两者通过联合判决器进行综合,能够有效提高算法的鲁棒性和识别率。

联合判决器设计如下:

1) 若特征层匹配置信度 ≥ 0.5 ,则将特征层匹配结果作为综合匹配结果;

2) 否则,若特征层匹配特征数 ≥ 8 ,则进行人脸图像校正和区域层匹配;若特征层的人脸匹配结果存在于区域层匹配置信度前 3 位的待选人脸之中,则将特征层匹配结果作为综合匹配结果;否则将待测人脸与各个样本脸的特征层匹配置信度和区域层匹配置信度加权综合考虑,其中特征、区域两级匹配置信度的权重根据图像纹理确定,且 $w_1 + w_2 = 1$ 。若图像纹理丰富,则 $w_1 > w_2$,可根据图像中提取特征点多少确定 $w_1, w_1 \in [0.6, 0.8]$;否则 $w_1 < w_2$, $w_2 \in [0.6, 0.8]$ 。

$$id = \max(w_1 Match_{feature}^{id} + w_2 Match_{template}^{id}) \quad (12)$$

3) 否则,若特征层匹配置信度 < 0.5 且输入待测人脸与各样本人脸的匹配特征数 < 8 ,则此时特征数量过少难以基于特征有效判别并校正图像;则直接使用 ZNCC 方法对整幅待测人脸与各样本进行相关性计算,取相关性最高的样本脸为匹配结果。

5 实验结果

使用 ORL 和 Yale 人脸库进行测试,基本涵盖光照、姿势、表情等影响人脸识别的主要因素。使用分辨率为 100×100 的 ORL 和 Yale 人脸库图像对本文方法进行测试,并比较本文方法和单一使用 SIFT 特征或 ZNCC 方法的识别率,如表 1 和图 5;其中,从 Yale 人脸库 165 幅测试图像中选取 30 幅光照存在

明显变化的测试图像测试算法对光照变化的鲁棒性,其识别率为 86.7%;从 ORL 人脸库 120 幅测试图像中选取相对样本人脸姿态变化较大的 55 幅图像测试算法对姿态变化的鲁棒性,其识别率为 90.9%。为测试本文方法对于低分辨率图像的识别效果,将测试图像分辨率降为 50×50 并进行测试,结果见表 1。通过比较,可以看到本文提出的尺度不变样本脸识别方法(SI-template)较单一使用 SIFT 特征或 ZNCC 方法,识别率显著提高,对弱纹理、旋转和尺度变化的鲁棒性较好;另基于 ORL 人脸库,将本文方法与经典 Eigenface 方法和 Analytic-to-holistic^[7,14] 方法进行比较,如图 6 所示,本文方法识别率较优,从而验证了本文方法的有效性。

表 1 人脸识别率测试结果
Table 1 Face recognition result

	ORL 人脸库	Yale 人脸库	总计
样本数	12	15	27
实验图片数	120	165	285
识别率/%	92.50	89.70	90.88
降分辨率识别率/%	84.17	77.58	80.35

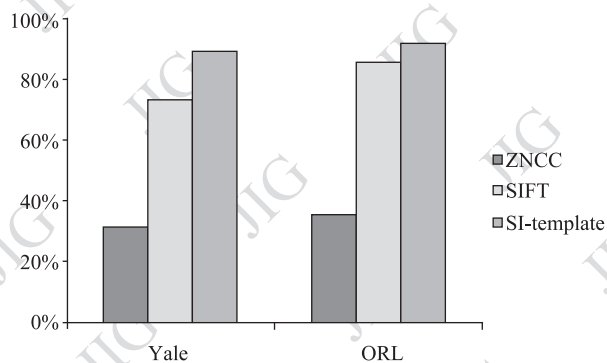


图 5 尺度不变样本脸方法与相关方法识别率比较

Fig. 5 Comparison of SI-template and related methods

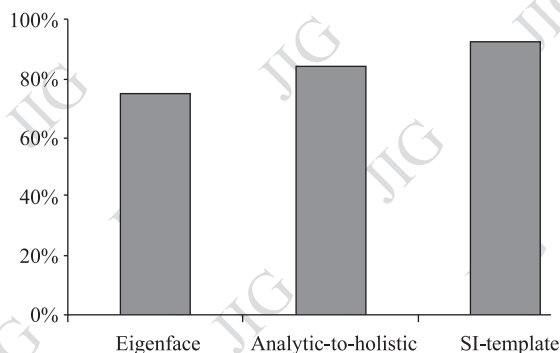


图 6 尺度不变样本脸方法与其他方法识别率比较

Fig. 6 Comparison of SI-template and other methods

6 结论

设计提出一种基于尺度不变样本脸的人脸识别方法,通过提取并匹配人脸图像的 SIFT 特征得到人脸图像的旋转、尺度不变的稳定特征点,通过估计图像间的旋转、尺度变化进行原始图像校正进而提取相对于待测人脸尺度、旋转不变的样本脸,再使用基于子区域的 ZNCC 算法得到样本脸与输入待测人脸的匹配关系,最后基于联合判决器综合特征点、特征脸两级匹配置信度对人脸识别结果进行判定。经测试验证,该方法能够有效结合 SIFT 特征对于旋转、尺度和光照变化适应性强的优点以及区域相关匹配方法对于弱纹理图像也能有效识别的优势,具有较强鲁棒性和适应性。

参考文献(References)

- [1] Zhao W, Chellappa R, Rosenfeld A, et al. Face recognition; a literature survey[J]. ACM Computing Surveys, 2003, 35(4): 399-458.
- [2] Turk M, Pentland A. Eigenfaces for recognition[J]. Journal of Cognitive Neuroscience Archive, 1991, 3(1): 71-86.
- [3] Swets D L, Weng J J. Using discriminant eigenfeatures for image retrieval[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(8): 831-836.
- [4] Wiskott L, Fellous J M, Kruger N, et al. Face recognition by elastic bunch graph matching[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(7): 775-779.
- [5] Bowyer K W, Chang K, Flynn P. A survey of approaches and challenges in 3D and multi-modal 3D + 2D face recognition[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2006, 101(1): 1-15.
- [6] Belhumeur P N, Hespanha J P, Kriegman D J. Eigenfaces vs. Fisherfaces: recognition using class specific linear projection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(7): 711-720.
- [7] Tan X, Chen S, Zhou Z H, et al. Face recognition from a single image per person: a survey[J]. Pattern Recognition, 2006, 39(9): 1725-1745.
- [8] Wu J, Zhou Z H. Face recognition with one training image per person[J]. Pattern Recognition Letters, 2002, 23(14): 1711-1719.
- [9] Chen S C, Zhang D Q, Zhou Z H. Enhanced $(PC)^2A$ for face recognition with one training image per person[J]. Pattern Recognition Letters, 2004, 25(10): 1173-1181.
- [10] Deng C, He X F, Han J W. Semi-supervised discriminant analysis[C]//Proceedings of IEEE International Conference on

- Computer Vision. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2007: 1-7.
- [11] Qiao L S, Chen S C, Tan X Y, Sparsity preserving discriminant analysis for single training image face recognition [J]. Pattern Recognition Letters, 2010, 31(5): 422-429.
- [12] Gao Y, Qi Y. Robust visual similarity retrieval in single model face databases [J]. Pattern Recognition, 2005, 38(7): 1009-1020.
- [13] Martinez A M. Recognizing imprecisely localized, partially occluded, and expression variant faces from a single sample per class [J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002, 25(6): 748-763.
- [14] Vetter T. Synthesis of novel views from a single face image [J]. International Journal of Computer Vision, 1998, 28(2): 102-116.
- [15] Lam K M, Yan H. An analytic-to-holistic approach for face recognition based on a single frontal view [J]. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., 1998, 20(7): 673-686.
- [16] David G L. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [17] Bicego M, Lagorio A, Grosso E, et al. On the use of SIFT features for face authentication [C]//Proc. of Intl Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2006: 35-41.
- [18] Luo J, Ma Y, Takikawa E, et al. Person-specific SIFT features for face recognition [C]//Proc. of International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2007(2): 563-566.
- [19] Irsara L, Fusiello A. Quasi-euclidean uncalibrated epipolar rectification [R]. Universita di Verona, Italy: Dipartimento di Informatica, 2006.
- [20] Heyden A, Pollefeys M. Multiple View Geometry [M]. NJ, USA: Prentice Hall, 2005: 153-233.