

基于特征融合的二代身份证人脸验证系统

汪 中^{1,2}, 陈恩红², 刘贵全²

(1. 合肥师范学院计算机学院, 安徽合肥 230601; 2. 中国科学技术大学计算机科学与技术学院, 安徽合肥 230027)

摘要: 二代身份证人脸验证是指判断二代身份证图片和身份证使用者当前头像是否为同一人。由于二代身份证图片分辨率较低, 与现场采集图像的清晰度、人脸内部变化、外在环境等差异较大, 传统的人脸识别方法在解决二代身份证人脸验证问题时识别率较低。针对上述问题, 提出一种基于特征融合的二代身份证人脸验证系统。该系统包括图像采集、预处理、特征提取、特征比对及结果判断五个部分。首先采集二代身份证图片和摄像头照片并进行图像预处理, 分别提取二代证照片和摄像头照片的全局特征和局部特征, 全局特征采用 PCA 和 LDA 方法, 局部特征采用直方图方向二进制码(HDBC)方法; 然后对全局特征和局部特征在公共特征空间内计算相似性, 得到全局特征和局部特征的相似性, 最终根据给定的阈值判断二代身份证持有人是否为本人; 最后在大量真实的二代证数据集上进行测试验证, 结果表明, 该方法相比于传统的单特征提取算法, 识别率显著提高。

关键词: 人脸验证; 二代身份证; 全局特征; 局部特征; 特征比对

中图分类号: TP391

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-2778.2019.10.008

引用格式: 汪中, 陈恩红, 刘贵全. 基于特征融合的二代身份证人脸验证系统[J]. 中国科学技术大学学报, 2019, 49(10): 828-834.

WANG Zhong, CHEN Enhong, LIU Guiquan. Feature fusion-based face verification on second generation identity card[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2019, 49(10): 828-834.

Feature fusion-based face verification on second generation identity card

WANG Zhong^{1,2}, CHEN Enhong², LIU Guiquan²

(1. School of Computer Science and Technology, Hefei Normal University, Hefei 230601, China;

2. School of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: The second-generation ID card face verification refers to judging whether the photo on the second-generation ID card matches its user. Due to its low resolution, the second-generation ID card photo differs greatly from the photo taken on the spot in terms of clarity, facial changes, and the external environment, resulting in the low recognition rate of the conventional face recognition method. To solve this problem, a second-generation ID card facial verification system based on feature fusion is proposed. The system consists of five parts: image acquisition, preprocessing, feature extraction, feature comparison, and result judgment. First, the second-generation ID card image and camera photo are collected and image preprocessing is performed. The global and local features of the second-generation card

收稿日期: 2018-04-20; **修回日期:** 2018-12-17

基金项目: 国家科技支撑计划(2012BAH17B03)、安徽省自然科学基金(1408085MF131)、安徽高校自然科学研究重点项目(KJ2018A0498, KJ2019A0726)资助。

作者简介: 汪中, 男, 1984年生, 博士/高级工程师。研究方向: 大数据与人工智能。E-mail: zhongw@ustc.edu.cn

通讯作者: 陈恩红, 博士/教授。E-mail: cheneh@ustc.edu.cn

photo and camera photo are then extracted separately. Global features are extracted by PCA and LDA methods, and local features are extracted by the histogram directional binary code (HDBC) method. Then, the global and local features are calculated in the common feature space, and the similarity between the global features local features is obtained. Finally, the user of the second-generation ID card is tested based on the given threshold. Experiments have been performed on a large number of real second-generation ID card datasets. Compared with the traditional single feature extraction algorithms, the recognition rate of the proposed method is significantly improved.

Key words: face verification, second-generation ID card, global feature, local feature, feature matching

0 引言

当前,第二代居民身份证已基本上在全国范围内普及,二代身份证采用非接触式 IC 智能芯片来存储居民信息,其信息包括身份证编号、照片和其他基本身份信息.基于二代证的人脸验证系统通过提取二代证照片与现场采集人脸图像的特征,通过比对判定是否为同一人.系统主要用于安检系统、金融事务办理及高考身份查验等场合,具有重要的研究价值和应用前景^[1].

在人脸识别中,如何提取人脸特征是一个关键步骤.人脸图像的变化分为内在变化和外在变化两种:内在变化是由于人的身份不同而引起的,属于人脸的本质属性;而外在变化是由于外界条件的不同而引起的,比如光照、姿态、表情、年龄等,反映了不同的图像采集条件.理想的人脸描述特征应该只反映人脸的内在变化,而对外在变化不敏感.也就是说,我们应该提取只反映人的身份而对光照、姿态等外部变化不敏感的人脸描述特征.

由于二代身份证内部存储的照片非常小,只有 102×126 像素,两眼间距不到 30 个像素.另外,现场采集的图像和二代证的照片之间的差异较大,如环境、光照、年龄、姿态等,这也导致传统的人脸识别技术在解决此类问题时识别率较低,因此基于二代证的人脸验证系统是目前的一个难点问题.

针对上述问题,本文提出一种基于特征融合的二代证身份人脸验证系统.图 1 给出二代证人脸认证的系统框架,包括图像采集、预处理、特征提取、特征比对和结果判断五个部分.首先利用二代证读卡器读取二代证照片、摄像头采集持证人的图像,并对采集的图像进行预处理,分别提取图片的全局特征和局部特征;然后对全局特征和局部特征在公共特征空间内计算相似性,得到全局特征和局部特征的相似性;最后通过特征比对输出二代身份证持证人

是否为其本人的判定结果.

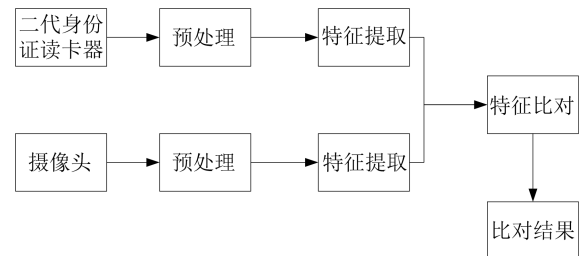


图 1 系统框架

Fig. 1 System framework

1 相关工作

常用的人脸识别方法主要采用特征提取和分类器的架构,并且已经取得成功应用.特征提取方面包括全局特征和局部特征.常用的全局特征提取方法包括主成分分析 PCA^[2]、线性判别分析 LDA^[3]、独立分量分析 ICA^[4]等.其中,PCA 和 LDA 方法已经成为人脸识别的基准算法.常用的局部特征方法包括 Gabor 特征^[5]、LBP 特征^[6]、DBC 特征^[7]、SIFT 特征^[8]等.另外,贝叶斯分类器^[9]、SVM^[10]、AdaBoost^[11]等众多分类器也受到广泛关注.

传统的人脸识别方法关注受控环境下的人脸识别,人脸由于受姿态、表情、遮挡、光照等不同状态的影响,使得同一个人脸的不同图像之间样本差异较大;而异构人脸识别不受控环境状态,图像模态导致的差异通常伴随个体人像的差异,大部分传统方法无法考虑模态的差异,从而在此应用上会失效.异构人脸识别成为当前的热点问题,解决方法主要分为四类,基于面部素描的方法、基于红外线人像 NIR 到可见光人像 VIS 的方法、基于 2D 到 3D 的方法以及基于低分辨人像到高分辨人像的方法. Klare 等^[12]提出基于 SIFT 特征的素描与图片的匹配方法,通过计算素描和图像之间 SIFT 特征的欧氏距离,采用神经网络进行匹配. Bhatt 等^[13]提出一种扩

展 LBP 特征来解决素描和图片之间的匹配问题,使用遗传算法优化每个面部特征块的最优权重. Klare 等^[14]利用随机子空间投影和稀疏表示对 NIR 和 VIS 进行匹配,且在特征表示部分使用 HOG 特征和 LBP 特征. Wang 等^[15]提出分析与合成框架将 NIR 人像转换成合成 VIS 人像. Huan 等^[16]提出一种两阶段的 2D-3D 人脸识别方法,第一阶段采用稀疏表示分类,第二阶段采用 CCA 方法获取 3D 和 2D 人脸图像的投影,最终融合两阶段得分. Zhou 等^[17]提出一种同步判别分析 SDA 方法,低分辨率图像 LR 和高分辨率图像 HR 分别由 SDA 学习并映射到相同的子空间,普通的分类方法即可满足分类要求.

基于二代证的人脸验证属于典型的异构人脸识别问题,除了人脸验证存在的问题外,还存在数据采集困难,难以生成大规模二代证数据库的问题. 国内学者提出不同方法解决基于二代证的人脸验证问题,如任小龙等^[18]提出一种人脸多部件融合和主成分分析方法,采用多种图像预处理方法如归一化、眼睛摘除等,在低分辨率和光不可控条件下取得满意效果. Ni 等^[19]提出一种基于二代证身份信息的人脸识别系统,并引入质量评估模块提高人脸查询的准确率,系统不仅提供验证注册功能,还提供查询功能. 马聪^[20]通过预处理方法去除人脸模糊图像,分别提取人脸图像的 DCT 特征以及二维 Gabor 特征,并提出基于多特征融合稀疏表示人脸分类方法用于二代身份证相片识别. 张媛媛等^[21]提出一种基于深度学习的二代证人脸验证方案,结合传统的图像预处理和相似性度量方法,将基于 DBN 的非监督贪心逐层训练的方法用于特征提取和降维. Zhu 等^[22]提出一种基于 LGBP 的块统计学习方法,并在自制的二代身份证数据集 NEU-ID 进行人脸识别验证,其识别率和时间性能均较优. 本文相对以往工作的主要创新是综合利用全局特征和局部特征,通过计算全局特征和局部特征在公共特征空间的相似度来进行特征比对.

2 基于特征融合的二代证人脸验证技术

2.1 图像预处理

论文采用二代身份证读卡器读取身份证中存储的人脸图片,采用摄像头现场抓拍人脸图片,对采集到的人脸图片进行图像预处理. 图像预处理包括基

于 AdaBoost 的人脸检测和基于 ASM 的关键点定位.

首先利用已经训练好的 Haar 特征级联分类器进行人脸检测,接着利用 ASM 方法对人脸特征点定位,将得到的双眼中心点经过仿射变换对齐到固定位置,从而实现人脸的几何归一化,获取大小为 64×64 人脸面部图片.

2.2 特征提取

人脸特征可以分为全局特征和局部特征两大类. 全局特征反映的是人脸的整体属性,主要描述人脸整体的属性,比如肤色、轮廓以及面部器官的分布等,用于粗略匹配,其特征向量的每一维都包括了人脸图像的所有信息. 局部特征侧重人脸的细节特征,主要描述人脸的细节变化,比如面部器官的特点以及面部的一些奇异特征,用于精细确认,其特征的每一维对应人脸的一个局部区域.

论文的特征提取方法如图 2 所示,全局特征提取采用特征脸方法,局部特征提取采用 HDBC 方法.

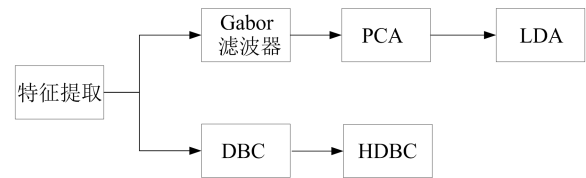


图 2 特征提取

Fig. 2 Feature extraction

(I) 全局特征提取

全局特征提取采用特征脸方法,包括 Gabor 滤波器处理、PCA 特征投影和 LDA 线性降维.

Gabor 滤波器:采用 5 个尺度,8 个方向的 Gabor 核函数,将图像 $I(x, y)$ 与 40 个核函数进行卷积,公式为

$$O_{m,n}(x, y) = I(x, y) * \Psi(x, y, \omega_m, \theta_n) \quad (1)$$

式中, ω, θ 分别为尺度和方向.

主分量分析 PCA:对每个样本进行归一化,构造矩阵 X ,计算出协方差矩阵为 $S = XX^T$,求得协方差矩阵 S 的本征值及本征向量,取前 f 个最大本征值对应的本征向量作为主分量方向.

$$\lambda E = SE \quad (2)$$

式中, E 为本征向量, λ 为本征值.

线性判别分析 LDA:通过最小化类内距离同时最大化类间距离达到分类效果,公式为

$$S_w = \sum_{j=1}^c \sum_{i=1}^{N_j} (x_i^j - u_j)(x_i^j - u_j)^T \quad (3)$$

$$S_b = \sum_{j=1}^c (\mu_j - \mu)(\mu_j - \mu)^T \quad (4)$$

式中, c 为类别个数, N_j 是类别 j 的样本个数, x_i^j 是类别 j 的样本的第 i 个样本, μ_j 是类别 j 的平均值; 最大化类间散度与类内散度比值的投影方向函数为

$$W_{\text{opt}} = \operatorname{argmax} \frac{|W^T S_b W|}{|W^T S_w W|} \quad (5)$$

取特征方程 $S_b W = \lambda S_w W$ 最大的 d 个特征值所对应的特征向量。

(II) 局部特征提取

局部特征提取采用方向 DBC 方法, DBC 方法描述一个局部区域内的任意两个像素, 沿着某一方向的空域关系, 公式为

$$\begin{aligned} \text{DBC}_{a,d}(z_{x,y}) = \{ & \\ & f(I'_{a,d}(z_{x,y})); f(I'_{a,d}(z_{x,y-d})); \\ & f(I'_{a,d}(z_{x-d,y-d})); f(I'_{a,d}(z_{x-d,y})); \\ & f(I'_{a,d}(z_{x-d,y+d})); f(I'_{a,d}(z_{x,y+d})); \\ & f(I'_{a,d}(z_{x+d,y+d})); f(I'_{a,d}(z_{x+d,y})); \\ & f(I'_{a,d}(z_{x+d,y-d})) \} \end{aligned} \quad (6)$$

式中, $z_{x,y}$ 表示图像 I 的某一像素, a 代表方向, d 是指像素 $z_{x,y}$ 与其领域像素之间的距离, $f(\cdot)$ 是一个二值函数, 其定义为

$$f(I'_{a,d}(z_{x,y})) = \begin{cases} 1, & I'_{a,d}(z_{x,y}) \geq 0 \\ 0, & I'_{a,d}(z_{x,y}) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

式中, $I'_{a,d}(z_{x,y})$ 是图像在像素 $z_{x,y}$ 位置, 沿 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 等方向的一阶导数, 定义为

$$\left. \begin{aligned} I'_{0^\circ,d}(z_{x,y}) &= I(z_{x,y}) - I(z_{x-d,y}) \\ I'_{45^\circ,d}(z_{x,y}) &= I(z_{x,y}) - I(z_{x+d,y-d}) \\ I'_{90^\circ,d}(z_{x,y}) &= I(z_{x,y}) - I(z_{x,y-d}) \\ I'_{135^\circ,d}(z_{x,y}) &= I(z_{x,y}) - I(z_{x-d,y-d}) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

将每张 DBC 图像分成多个区域, 求出每个区域的直方图 HDBC, 将这些 HDBC 特征连接起来构成特征向量。

2.3 特征比对

特征比对包括特征库构建和相似性计算两部分。特征库构建流程如下:

(I) 读取 N 张证件照, 预处理归一化, 分别提取全局特征和局部特征, 得到相应的特征库 $\text{Train}_A, \text{Train}_B$ 。

(II) 对于全局特征, 计算不同特征之间的曼哈

顿距离, 如果距离小于 0.5, 则删除该特征, 并更新特征库 Train_A 。

(III) 对于局部特征, 利用 AdaBoost 级联分类器计算特征之间的输出权重和, 如果权重和大于 210, 则删除该特征, 并更新特征库 Train_B 。

相似性计算流程如下:

(I) 对于二代身份证照片 ID, 计算其全局特征 ID_A 和局部特征 ID_B 。

(II) 对于现场抓拍的 M 张人脸图像 $C_i (i = 1, \dots, M)$, 首先计算其平均脸图像 C_{ave} , 然后分别计算平均脸图像 C_{ave} 的全局特征和局部特征, 其中平均脸图像是对 M 张图像求平均得到。

(III) 对于全局特征:

① 计算 ID_A 与特征库 Train_A 中每个特征的距离;

② 计算所有距离的均值和方差, 进一步得到正态分布曲线;

③ 计算 ID_A 与平均脸图像 C_{ave} 的距离, 根据该距离在正态分布曲线的位置, 查表计算其相似性 P_A 。

(IV) 对于局部特征:

① 计算 ID_B 与特征库 Train_B 中每个特征的距离;

② 计算所有距离的均值和方差, 进一步得到正态分布曲线;

③ 计算 ID_B 与 M 张人脸图像 $C_i (i = 1, \dots, M)$ 的距离, 得到最小距离, 根据最小距离在正态分布曲线的位置, 查表计算其相似性 P_B 。

2.4 算法流程

基于特征融合的二代证人脸验证算法流程如下:

(I) 图像采集: 利用二代证读卡器读取二代身份证上的人脸图片 ID, 同时利用摄像头现场抓拍 M 张人脸图像 $C_i (i = 1, \dots, M)$ 。

(II) 特征提取: 对采集的人脸图像 ID 和人脸图像 $C_i (i = 1, \dots, M)$, 采用 2.1 节方法进行图像预处理, 采用 2.2 节方法再进一步进行全局特征和局部特征提取。

(III) 特征比对: 采用 2.3 节的特征比对方法对全局特征和局部特征在公共特征空间内计算相似性, 得到全局特征的相似性 P_A 和局部特征的相似性 P_B 。

(IV) 输出结果: 只有当 $P_A > \alpha$ 且 $P_B > \beta$, 认

定二代身份证持有人是其本人,其中 α 和 β 为阈值. 实验部分根据经验值设置阈值 $\alpha = 0.8$ 和 $\beta = 0.85$.

图 3 给出算法的具体流程.

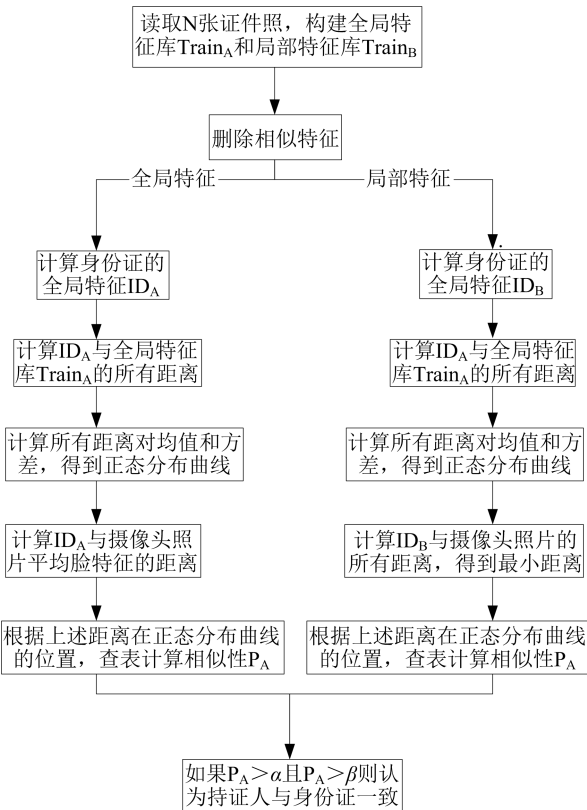


图 3 基于特征融合的二代证人脸验证算法

Fig. 3 Algorithm of feature fusion-based face verification on second generation identity card

3 实验结果及分析

3.1 数据集

本实验采用的二代身份证数据库共包括 560 张二代身份证照片,每个人现场采集的 20 张共 11 200 张人脸图像. 图 4 给出二代身份证数据库的部分样本图片,其中二代身份证的大小为 102×126 ,现场图像为 1280×720 ,包含各种姿态、表情以及光照的影响.

3.2 结果分析

对现场采集的人脸图像首先采用基于 Haar 特征级联分类器进行人脸检测,然后采用 ASM 方法进行特征点定位,最后进行灰度归一化,得到大小 64×64 的人脸照片,图 5 给出部分预处理之后的人脸照片,并计算其平均脸照片.

图 6 给出全局特征和局部特征的正态曲线分布图,其中全局特征的均值和方差分别为 0.229 123、

0.019 538,而局部特征的均值和方差分别为 127.507 492、27.582 27.



图 4 部分数据样本

Fig. 4 Partial data samples

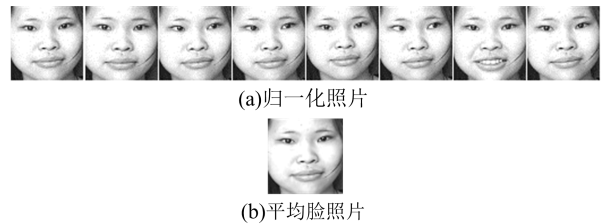


图 5 预处理后的照片

Fig. 5 Photos after preprocessing

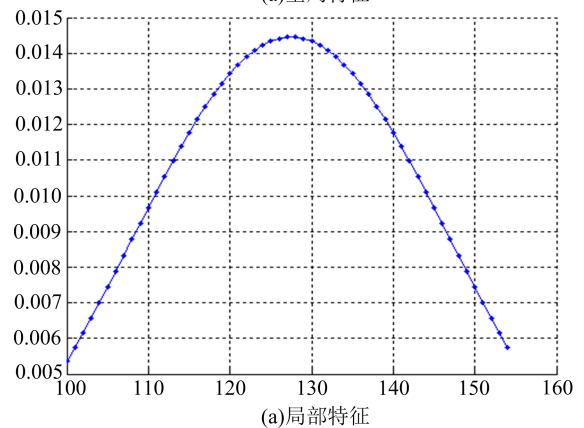
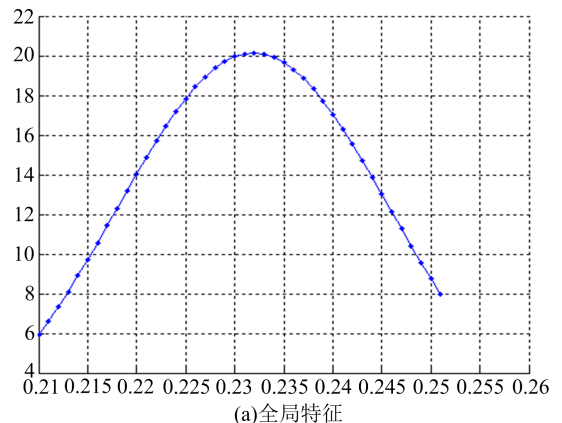


图 6 正态分布曲线

Fig. 6 Normal distribution curve

为了验证本文方法的有效性,分别采用全局特征、局部特征和文献[21]模型进行对比实验,其中全局特征方法采用 PCA 和 LDA 方法,局部特征采用 HDBC 特征和 AdaBoost 级联分类器,文献[21]模型采用基于深度学习的方法进行二代证人脸验证.图 7 给出不同算法的 ROC 曲线图,从图 7 可以看出,本文方法明显优于其他方法.

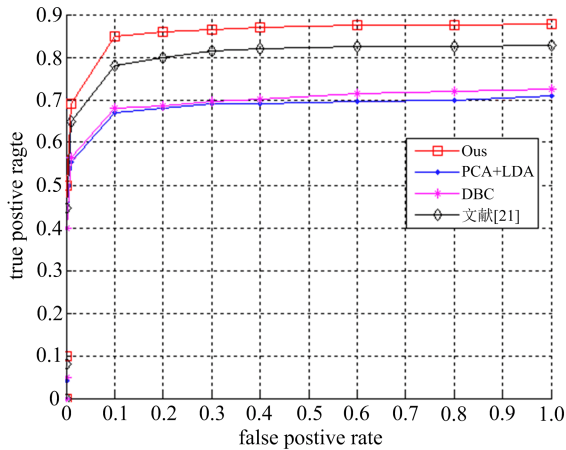


图 7 不同算法的 ROC 曲线图

Fig. 7 ROC curves with different algorithms

为了进一步验证方法的有效性,本文采用深度学习通用框架 Tensorflow 训练二代身份证识别模型并进行测试.表 1 给出了 5 种不同算法的识别率实验结果,其中 FAR 表示错误接受率.由表 1 可以看出,本文方法的特征融合识别率比传统的单特征方法约有 17% 的显著提升,比文献[21]提出的方法约有 5% 的提升,比 Tensorflow2 (FAR=0.001) 约有 1% 的提升.这从一定程度上说明,基于传统单特征的人脸验证方法无法解决二代身份证照片和现场采集图片的巨大差异问题,即不能适用于基于二代证的人脸验证实际应用;文献[21]通过提取人脸图像对高层特征,减弱了二代身份证照片和现场采集图片的巨大差异.同时,深度学习模型由于需要大量的数据样本且二代身份证的像素较低,因此其识别率未能取得较高的提升.基于特征融合的方法将二代证和现场采集的照片置于公共特征空间,通过计算全局特征和局部特征提取两种照片之间的共性特征,从而提高了人脸验证的识别性能.

表 2 给出人脸验证系统的软硬件参数及测试性能.另外,对系统的各部分效率进行测试,得到图像预处理平均耗时 65 ms,特征提取平均耗时 143 ms,人脸验证总体平均耗时小于 700 ms,因此人脸验证系统可以满足现有应用需求.

表 1 不同特征的识别率

Tab. 1 Recognition rate of different features

算法	识别率
全局特征方法	68.3%
局部特征方法	69.6%
文献[21]方法	81.3%
Tensorflow1 (FAR=0.01)	77.5%
Tensorflow2 (FAR=0.001)	85.6
特征融合方法	86.5%

表 2 人脸验证系统性能参数

Tab. 2 Performance parameters of face verification

平台名称	系统参数
PC 机	Intel i5 处理器、4G 内存
开发环境	Win7、Qt 4.8.1、Opencv 2.4
摄像头	海康摄像头、采集帧率:25 帧/s
人脸验证时间	<700ms

4 结论

本文提出了一种基于特征融合的二代身份证人脸验证系统,采用特征脸方法提取全局特征和 HDBC 特征提取局部特征,综合利用全局特征和局部特征,在公共特征空间内计算相似性来进行人脸验证,解决了二代身份证和现场采集图像之间存在的巨大差异问题.在大量的真实二代身份证人脸数据集上测试,本文提出的方法在识别率上比传统的单一特征方法有较大的提升,且人脸验证系统的速度较快.如何缩小二代身份证照片和现场采集照片的特征差异,设计不同图像之间的特征迁移方法是二代身份证人脸验证的未来的研究方向.

参考文献 (References)

- [1] CHAN C H, TAHIR M A, KITTLER J, et al. Multiscale local phase quantization for robust component-based face recognition using kernel fusion of multiple descriptors[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2013, 35 (5): 1164-1177.
- [2] TURK M A, PENTLAND A P. Face recognition using eigenfaces[C]// Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Maui, USA: IEEE, 1991: 586-591.
- [3] MIKA S, RATSCH G, WESTON J, et al. Fisher

- discriminant analysis with kernels[EB/OL]// [2019-03-26] https://www.researchgate.net/publication/3814316_Fisher_Discriminant_Analysis_with_Kernels. Neural Networks for Signal Processing IX, 1999.
- [4] BARTLETT M S, MOVELLAN J R, SEJNOWSKI T J. Face recognition by independent component analysis[J]. IEEE Transactions on neural networks, 2002, 13(6): 1450-1464.
- [5] JAHANBIN S, CHOI H, BOVIK A C. Passive multimodal 2-D + 3-D face recognition using Gabor features and landmark distances [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2011, 6(4): 1287-1304.
- [6] ZHU X, LEI Z, YAN J, et al. High-fidelity pose and expression normalization for face recognition in the wild[C]// Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Boston, USA; IEEE, 2015: 787-796.
- [7] ZHANG B, ZHANG L, ZHANG D, et al. Directional binary code with application to PolyU near-infrared face database[J]. Pattern Recognition Letters, 2010, 31(14): 2337-2344.
- [8] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant key points [J]. International journal of computer vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [9] LIU W, TANG X, LIU J. Bayesian tensor inference for sketch-based facial photo hallucination [C]// International Joint Conference on Artificial Intelligence. Hyderabad, India: Morgan Kaufmann Publishers, 2007: 2141-2146.
- [10] KLARE B F, BUCAK S S, JAINA K, et al. Towards automated caricature recognition[C]//2012 5th IAPR International Conference on Biometrics (ICB). New Delhi, India: IEEE, 2012: 139-146.
- [11] LIAO S, YI D, LEI Z, et al. Heterogeneous face recognition from local structures of normalized appearance [C]// International Conference on Biometrics. Berlin Heidelberg: Springer, 2009: 209-218.
- [12] KLARE B, JAIN A K. Sketch-to-photo matching: A feature-based approach[C]// SPIE Defense, Security, and Sensing. International Society for Optics and Photonics. Orlando, USA; IET, 2010: 766702-766702-10.
- [13] BHATT H S, BHARADWAJ S, SINGH R, et al. On matching sketches with digital face images [C]// Fourth IEEE International Conference on Biometrics: Theory Applications and Systems . Washington, USA: IEEE, 2010: 1-7.
- [14] KLARE B, JAIN A K. Heterogeneous face recognition: Matching near to visible light images[C]// International Conference on Pattern Recognition . Istanbul, Turkey: IEEE, 2010: 1513-1516.
- [15] WANG R, YANG J, YI D, et al. An analysis-by-synthesis method for heterogeneous face biometrics [C]// International Conference on Biometrics. Berlin: Springer , 2009: 319-326.
- [16] HUANG D, ARDABILIAN M, WANG Y, et al. Automatic asymmetric 3D-2D face recognition[C]// International Conference on Pattern Recognition. Washington, USA: IEEE, 2010: 1225-1228.
- [17] ZHOU C, ZHANG Z, YI D, et al. Low-resolution face recognition via simultaneous discriminant analysis [C]// International Joint Conference on Biometrics. Washington, USA: IEEE, 2011: 1-6.
- [18] 任小龙, 苏光大, 相燕. 使用第 2 代身份证的人脸识别身份认证系统[J]. 智能系统学报, 2009, 4(3): 213-217.
- [19] REN Xiaolong, SU Guangda, XIANG Yan. Face authentication system using the Chinese second generation identity card[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2009, 4(3): 213-217.
- [20] 倪鑫, 雷震, 邢辉, 等. 基于二代身份证信息的人脸识别系统[C]// 未来计算机与通信工程国际会议. 天津, 中国: 亚特兰蒂斯出版社, 2014: 184-188.
- [21] NI X, LEI Z, XING H, et al. Face recognition system based on the second generation identity card [C]// International Conference on Future Computer and Communication Engineering. Tianjin, China: Atlantis Press, 2014:184-188.
- [22] 马聪. 终端信息感知的人脸图像处理技术研究是实现 [D]. 东南大学, 2014.
- [23] 张媛媛, 霍静, 杨婉琪, 等. 深度信念网络的二代身份证异构人脸核实算法[J]. 智能系统学报, 2015, 10(2): 193-200.
- [24] ZHANG Yuanyuan, HUO Jing, YANG Wanqi, et al. A deep belief network-based heterogeneous face verification method for the second-generation identity card[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2015, 10(2): 193-200.
- [25] ZHU H, WANG Y, MAO X, et al. Block statistical features-based face verification on second generation identity card [C]//Chinese Conference on Biometric Recognition. Zhuzhou, China: Springer, 2015: 43-50.