

基于多尺度韦伯脸和梯度脸的 复杂光照下人脸识别研究

程淑红, 刘 洁

(燕山大学电气工程学院 河北省测试计量技术及仪器重点实验室, 河北 秦皇岛 066004)

摘要:针对复杂光照变化影响人脸识别准确性的问题,提出了一种基于多尺度韦伯脸和梯度脸相结合的复杂光照下人脸识别方法。首先定义了能够有效描述人脸纹理结构的多尺度韦伯脸,一定程度上减弱了不同光照条件的影响;其次融合多尺度韦伯脸和梯度脸提取人脸光照不变量;最后利用 SVM 多类分类算法实现人脸识别。使用 CMU PIE 与 Yale B 人脸库进行验证,结果表明:提出的算法能够有效消除复杂光照变化对人脸识别的影响,即在光照极差情况下,单样本图像作为训练图像也可以有很好的识别效果,且识别率显著高于韦伯脸、多尺度韦伯脸和梯度脸。

关键词: 计量学; 人脸识别; 复杂光照; 多尺度韦伯脸; 梯度脸

中图分类号: TB96

文献标识码: A

文章编号: 1000-1158(2017)01-0060-05

Face Recognition under Complex Illumination Based on Multi-scale Weber-face and Gradient-face

CHENG Shu-hong, LIU Jie

(Institute of Electrical Engineering, the Key Lab of Measurement Technology and Instrumentation of Hebei Province,
Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004, China)

Abstract: Aiming at the problem of the effect of Complex Illumination on face recognition rates, an integrated method based multi-scale Weber-face and gradient-face is proposed. The method starts with defining the multi-scale Weber-face, which can effectively describe the face texture structure and reduce the influence of different lighting to some extent. Then multiscale face and GF are fused to extract the face illumination invariant. Finally, multi-class support vector machine is employed for face authentication. The experiments are executed both on CMU-PIE and Yale B face databases. The experimental results have indicated that the proposed method can effectively eliminate the influence of face recognition under complex illumination and the recognition rates are superior to Weber-face, multiscale Weber-face and gradient-face, even single sample images with serious light as training sample images can also work well.

Key words: metrology; face recognition; complex illumination; multi-scale Weber-face; gradient-face

1 引 言

目前人脸识别技术中,复杂光照变化影响人脸识别有着难以克服的缺陷,甚至不能满足实际系统的需要^[1]。如何消除或抑制复杂光照变化对人脸认证的影响已成为人脸识别领域亟待解

决的问题之一^[2]。近年来,不少学者提出了解决环境光照变化影响的算法,而提取人脸光照不变量的方法研究更为广泛、普遍^[3~5]。该方法仅仅利用单张人脸样本图像就可提取其光照不变量,不仅降低了算法复杂度而且能有效地应用于实时人脸认证系统^[6~9]。其中梯度脸(Gradient-face, GF)和韦伯脸(Weber-face, WF)有效地提取

收稿日期: 2015-06-10; 修回日期: 2016-10-17

基金项目: 国家自然科学基金青年基金(61601400); 河北省自然科学基金(F2012203031)

作者简介: 程淑红(1978-),女,河北秦皇岛人,燕山大学副教授,博士,主要从事视觉检测、图像处理及水质监测的研究。

shhcheng@ysu.edu.cn

了人脸光照不敏感特征,在复杂光照下进行人脸识别方面取得了理想效果^[10,11]。但是 GF 对局部变化十分敏感,而 WF 虽然克服了局部变化影响却只考虑了中心像素和邻近 8 个像素,从单一的尺度提取韦伯脸。因此,本文对 WF 进行改进,提取不同尺度的韦伯脸,基于加权法计算多尺度韦伯脸 (Multi-scale Weber-face, MWF),然后将 MWF 和 GF 相融合的方法应用到提取人脸光照不变量,通过与 WF、GF、MWF 的对比说明了本方法的优越性、高效性。

2 原 理

2.1 韦伯规则和韦伯脸

韦伯规则描述的是在不同的背景条件中,能够达到差别感觉的一种比值:

$$\Delta I / I = k \tag{1}$$

式中: ΔI 为刺激的最小可觉差即能够引起区分感觉的刺激差; I 为原始的刺激强度; k 为小于 1 的常量,称为韦伯率。因此 Wang 受韦伯规则和韦伯局部描述符 (Weber Local Descriptor, WLD) 的启发,推导了韦伯脸^[11],其中 F_w 表达式为:

$$F_w(x,y) = \arctan \left\{ \alpha \sum_{i \in A} \sum_{j \in A} [F(x,y) - F(x-i\Delta x, y-j\Delta y)] F^{-1}(x,y) \right\} \tag{2}$$

式中: $A = \{-1, 0, 1\}$; F 为输入人脸图像; α 为用于调整 (放大或缩小) 相邻像素之间强度差的参数。

2.2 多尺度韦伯脸 (MWF)

针对单尺度韦伯脸只考虑了中心像素和邻近 8 个像素,不能够有效描述人脸图像纹理结构的问题,基于多尺度分析的多尺度韦伯脸 (Multi-scale Weber-face, MWF) 被应用于提取光照鲁棒人脸不变量的研究中。近年来多尺度分析被广泛应用于机器视觉、图像分析、信号处理与通信等领域^[12-14]。人脸识别一般通过以下 3 种方式实现:一是对原始图像进行采样、小波变换等操作;二是将原始图像分割成不同大小的重叠的子块;三是利用不同大小的窗口对原始图像进行滤波^[15,16]。

本文采用第 3 种方案,采用不同大小的滤波窗口计算不同尺度的韦伯脸,其滤波窗口如

图 1 所示, i 为滤波窗口的半径。图 2 为不同尺度下的韦伯脸及其识别率,由其可知随着尺度

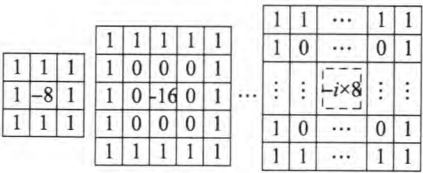


图 1 多尺度分析中不同半径的滤波窗口

的变化,小尺度韦伯脸主要包含人脸的局部信息,含有较多的细节分量,而大尺度韦伯脸正好相反,包含人脸的全局信息,含有较少的细节分量,并且滤波窗口半径为 1, 2 和 3 时,人脸识别率较高,当达到 4 以后滤波窗口半径再增大,人脸识别率不再增大反而会下降。因此,采用加权方法对滤波窗口半径为 1, 2 和 3 的韦伯脸进行融合得到多尺度韦伯脸:

$$F_{mw}(x,y) = \sum_{i=1}^3 \omega_i F_{w_i}(x,y) \tag{3}$$

其中: F_{w_i} 为滤波窗口半径为 i 时的韦伯脸; ω_i 为韦伯脸 F_{w_i} 的权重系数。

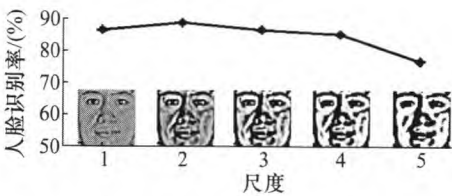


图 2 不同尺度下的韦伯脸及其识别率

图 3 是在 CMU PIE 数据库上不同光照条件下的人脸光照不变量提取结果及其直方图,其中图 3 (b) 是 $i=1$ 时的 WF,由图 3 可知 MWF 更能有效消除光照影响且描述人脸图像纹理结构。

2.3 梯度脸

由于图像的梯度域信息具有光照不敏感特性,Zhang 等提出了基于图像梯度变换的梯度脸 (GF) 来提取光照不变量。求取梯度脸的思想是将人脸图像由像素域变换到梯度域,如式 (4) ~ 式 (6),再在梯度域提取人脸光照不变量即梯度脸,如式 (7)。

将图像由像素域变换到梯度域的方法有很多,如拉普拉斯变换、Sobel 变换、高斯核函数变换等。梯度脸计算时采用高斯核函数的一阶导数,计算人脸图像 X 、 Y 方向的梯度分量,即

$$F_x = FG_x(x,y,\sigma) \tag{4}$$

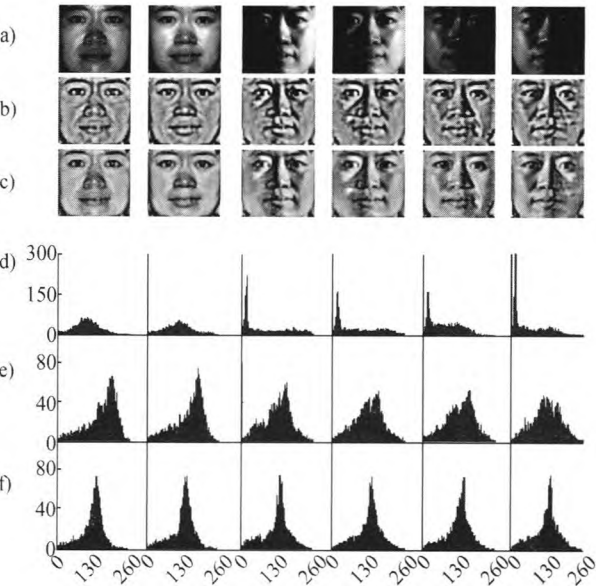


图3 人脸光照不变量提取结果及其直方图
(a) 原始图像; (b) WF; (c) MWF; (d) 原始图像直方图; (e) WF 直方图; (f) MWF 直方图

$$F_y = FG_y(x,y,\sigma) \tag{5}$$

$$G(x,y,\sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right) \tag{6}$$

式中: F 为 人 脸 图 像; F_x 和 F_y 分 别 为 人 脸 图 像 X 和 Y 方 向 的 梯 度 信 息; σ 是 高 斯 函 数 的 标 准 差。

基于梯度域计算梯度脸如下:

$$F_G = \arctan(F_y/F_x), \quad F_G \in [0,2\pi) \tag{7}$$

2.4 融合 MWF 和 GF 提取人脸光照不变量

梯度脸虽然具有实现简单、快速、有效等优点,但是其抵抗局部变化的性能较差,导致无法分清变化是由人脸特征引起的还是由光照变化引起的或者是噪声引起的,而韦伯脸是基于韦伯局部描述子(WLD)获取,故韦伯脸可以在不影响人脸特征变化的情况下消除局部光照变化影响。单尺度韦伯脸仅从中心像素和邻近 8 个像素描述人脸特征,为了全面有效地描述人脸信息,将利用多尺度韦伯脸和梯度脸相结合提取人脸光照不变量,具体算法为:

- (1) 输入图像 F ;
- (2) 用式(2)求滤波窗口半径为 1,2 和 3 时的韦伯脸,用式(3)计算 MWF;
- (3) 基于 MWF 用式(7)提取 GF。

3 实验结果与分析

为了验证本文方法的有效性,将在反映光照

变化的典型人脸数据库 Yale B 和 CMU PIE 上进行人脸识别实验。求取 MWF,然后再在 MWF 基础上求取 GF 作为复杂光照下人脸认证特征,利用 SVM 多类分类算法实现人脸识别。在进行实验时参数设置如下:式(2)中 $\alpha = 4$,式(3)中 $\omega_1 = 0.2, \omega_2 = 0.5, \omega_3 = 0.3$,式(4)~式(6)中 $\sigma = 0.8$ 。

3.1 CMU PIE 数据库上实验结果

CMU PIE 人脸数据库的光照子集(C27)可进行光照人脸识别实验,C27 由 68 人组成,其中每人有 21 幅不同角度的光照图像。图 4 是同一个人在 21 种光照环境变化下的原始图像(图 4(a))及其融合 MWF 和 GF 提取的人脸光照不变量(图 4(b))。

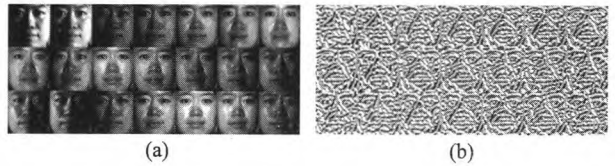


图4 CMU PIE 数据库的样本图像及融合 MWF 和 GF 提取人脸光照不变量

由图 4 可知,不同光照下的人脸不敏感特征基本相同,故本文提出的方法能够有效消除光照的影响。为了验证提取的人脸不敏感特征对人脸认证的贡献,又做了下面的实验,即每次取出每人来自不同光照的 21 幅图像中的一幅图像作为训练图像,其余图像作为测试图像,测试结果如图 5 和表 1 所示,其中图 5 是不同方法对不同光照条件下的人脸识别结果,表 1 是不同方法对不同光照条件下人脸平均识别率。

表 1 在 CMU PIE 数据库上人脸平均识别率 (%)

GF + SVM	WF + SVM	MWF + SVM	WF + GF + SVM	MWF + GF + SVM
95.42	91.90	94.73	97.68	98.21

由图 5 可知,本文提出的方法明显优于 WF、GF、MWF 及 WF + GF,尤其在光照极差的情况下,例如以图片 15 为训练图像时本文人脸识别率是 95.25%,比 WF、GF、MWF 及 WF + GF 分别提高了 20%、4.75%、14.25%及 2.5%。进一步由图 5 和表 1 还可以看出,MWF 较 WF 更能消除光照影响描述人脸纹理结构,同时由 WF + GF 和

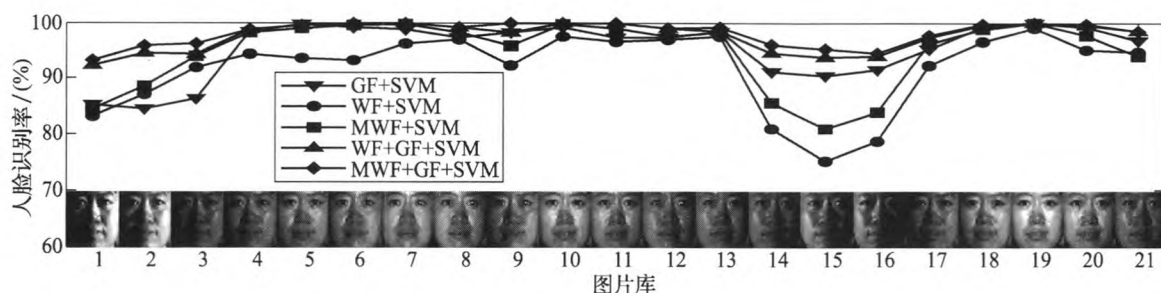


图5 在 CMU PIE 数据库上不同光照条件下的人脸识别结果

MWF + GF 可以看出,韦伯脸与梯度脸相结合弥补了梯度脸由于对局部变化十分敏感,导致局部变化是由人脸个体间差异引起的还是由光照变化引起的不足,两者相结合对描述人脸光照不敏感特征具有优越性。

3.2 Yale B 数据库上实验结果

Yale B 数据库包括 10 个人的 9 种姿势及 64 种不同光照条件的人脸图像,本文将选取 64 幅不同光照条件下正面姿态的人脸进行实验。数据库被分为 5 个不同的光照子集:子集 1(0°到 12°,70 幅图片),子集 2(13°到 25°,120 幅图片),子集 3(26°到 50°,120 幅图片),子集 4(51°到 77°,140 幅图片),子集 5(78°以上 190 幅图片)。为了进一步验证上述方法的有效性,在 Yale B 数据库进行 2 个实验。

实验 1 从 Yale B 数据库正面姿态下 64 幅不同光照下的人脸图像抽取 20 幅进行实验,如图 6(a)所示,其融合多尺度韦伯脸(MWF)和梯度脸(GF)提取的人脸光照不变量如图 6(b)所示。

同样每次取出每人来自不同光照的 20 副图像中的一副图像作为训练图像,其余图像作为测

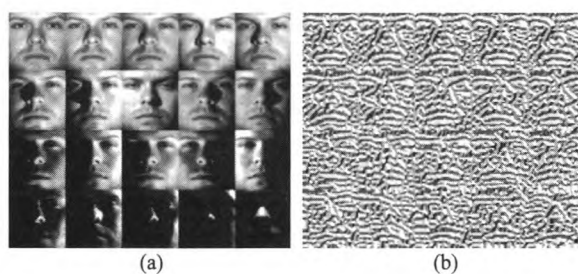


图6 Yale B 数据库的样本图像及融合 MWF 和 GF 提取人脸光照不变量

试图像,测试结果如图 7 所示。

实验 2 用光照子集 1~5 分别作为训练集,其它子集作为测试集,测试结果如图 8 所示,其中图 8(a)~图 8(d)分别是子集 1、2、3、5 作为训练集的测试结果,由于子集 4 作为训练集时各个方法的人脸识别结果都为 100%,就没有绘制其图像。由图 7 和图 8 可知,无论是单幅还是多幅人脸作为训练图像,本文方法都取得了较好的效果,尤其由图 7 可知单幅人脸作为训练图像时,即使光照极差的情况下,本文提出的方法仍是较理想的。

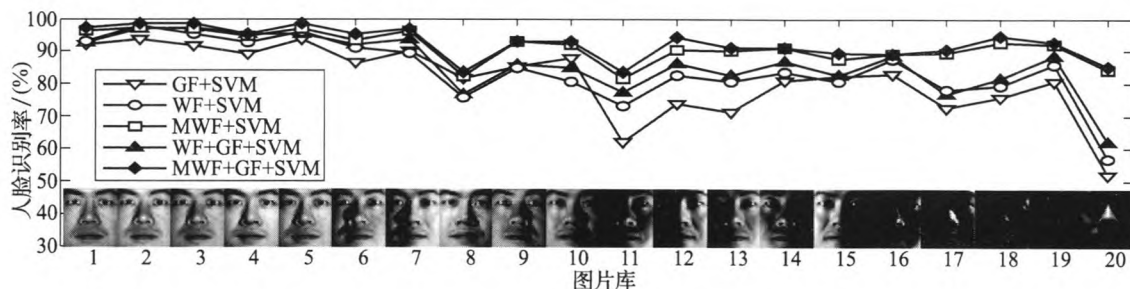


图7 在 Yale B 数据库中不同光照条件下的人脸识别结果

4 结 论

针对光照对人脸图像的影响开展研究,提出了一种多尺度韦伯脸(MWF)和梯度脸(GF)

相结合的复杂光照人脸识别方法。实验结果表明:(1)多尺度韦伯脸(MWF)可以有效地消除部分光照的影响;(2)融合多尺度韦伯脸(MWF)和梯度脸(GF),提取人脸光照不变量可以很好地反映复杂光照下的人脸不变量,即

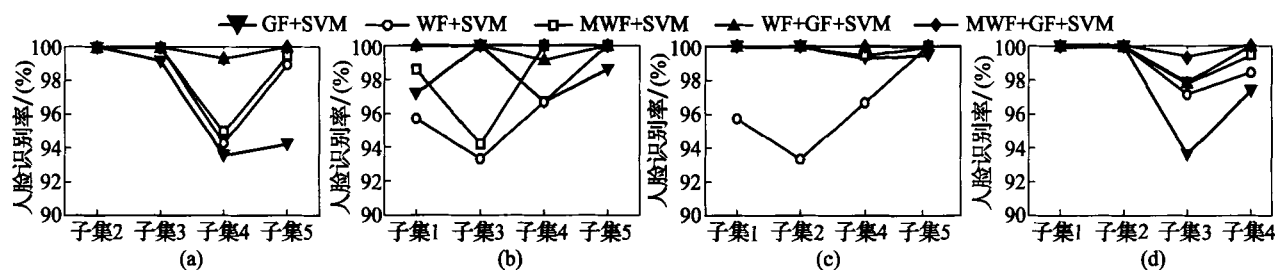


图 8 在 Yale B 数据库中不同子集作为训练集人脸识别结果

使使用光照极差的情况下,单样本图像作为训练图像也可以有很好的识别效果。研究结果有望应用于复杂光照情况下单样本人脸识别系统。

[参 考 文 献]

- [1] 王成, 郭飞, 赖雄鸣, 等. 多尺度加权 LBP 的人脸识别[J]. 光电工程, 2014, 41(4): 82-88.
- [2] Zou W, Yuen P, Chellappa R. Low-resolution face tracker robust to illumination variations [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2013, 22: 1726-1739.
- [3] Xie X, Lam K M. Face recognition under varying illumination based on a 2D face shape model[J]. *Pattern Recognition*, 2005, 38(2): 221-230.
- [4] Hyun Jung S, Jiebo L, Tsuhan C. A subspace model-based approach to face relighting under unknown lighting and poses [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2008, 17(8): 1331-1341.
- [5] Cao X, Shen W, Yu L G. Illumination invariant extraction for face recognition using neighboring wavelet coefficients[J]. *Pattern Recognition*, 2012, 45(4): 1299-1305.
- [6] Jobson D J, Rahman Z, Woodell G A. A multiscale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1997, 6(7): 965-976.
- [7] Wang H, Li S Z, Wang Y, et al. Face recognition under varying lighting conditions using self quotient image [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 2004, 819-824.
- [8] Chen T, Zhou X S, Comaniciu D, et al. Total variation models for variable lighting face recognition [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2006, 28(9): 1519-1524.
- [9] 辜小花. 基于视觉感知和边缘保持的光照不变人脸识别[J]. 电子学报, 2013, 41(8): 1500-1505.
- [10] Zhang T, Tang Y, Fang B, et al. Face recognition under varying illumination using gradient faces [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2009, 18(11): 2599-2606.
- [11] Wang B, Li W, Yang W, et al. Illumination normalization based on weber's law with application to face recognition [J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2011, 18(8): 462-465.
- [12] 李海滨, 张强, 刘彬. 基于多尺度小波变换的子线段匹配方法研究[J]. 计量学报, 2009, 30(1): 88-92.
- [13] Xu B, Tang Y Y, Fang B, et al. Multi-scale gradient invariant for face recognition under varying illumination [J]. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2012, 26(8): 1-12.
- [14] 孟宗, 李良良. 基于局部特征尺度分解和形态学分形维数的滚动轴承故障诊断方法[J]. 计量学报, 2016, 37(3): 284-288.
- [15] 赵振华, 郝晓弘. NSCT 域自适应人脸图像光照不变特征提取[J]. 光电子·激光, 2012, 23(9): 1815-1820.
- [16] Li S, Gong D, Yuan Y. Face recognition using Weber local descriptors[J]. *Neurocomputing*, 2013, 122: 272-283.