

人脸识别中遮挡区域恢复算法研究

杜杏菁^{1,2} 郭明雄²

(北京理工大学光电学院光电成像技术与系统教育部重点实验室 北京 100081)¹

(华北科技学院计算机系 燕郊 065201)²

摘 要 在分析脸部遮挡处理各算法的基础上,提出了自动多值掩模 PCA 人脸重建模型(MMPCA 模型)。该模型首先进行特征提取,计算待测人脸和标准样本的特征脸差,判断遮挡部位,即遮挡类型;接着使用 M 估计器对遮挡掩模进行估计,为不同像素点估计符合自身特性的幅度参数,生成多值遮挡掩模;再通过 3 个半二次型函数迭代保证最优合成系数唯一与收敛,获得最优合成系数,重建人脸。实验结果表明,该算法能恢复遮挡部位,减弱遮挡对识别准确率的影响。

关键词 人脸识别,遮挡恢复,多值掩模 PCA 人脸重建(MMPCA)

中图分类号 TP391.4 文献标识码 A

Research of Face Occlusion Recover Algorithm in Face Recognition

DU Xing-jing^{1,2} GUO Ming-xiong²

(Key Laboratory of Photoelectronic Imaging Technology and System, Ministry of Education of China,

School of Optoelectronics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)¹

(Department of Computer, North China Institute of Science and Technology, Yanjiao 065201, China)²

Abstract Based on the analysis of facial occlusion handling various algorithms, a automatical multi-value mask PCA face reconstruction model (MMPCA model) was proposed. First the facial features are extracted, and the eigenface difference between a test face and a standard face is calculated to judge the facial occlusion accurately and determine the facial occlusion type. Then a occlusion mask is estimated with a M estimator, and the pixel's amplitude parameters are estimated, and the multi-value occlusion mask is generated. Last three half secondary-type functions are used to ensure optimal synthesis coefficients is only and convergent, and then the optimal synthesis coefficient is obtained to reconstruct the face. The experimental results show that the occlusion region is restored and the occlusion influence to face recognition accuracy is weaken through using the automatical multi-value mask PCA face reconstruction model.

Keywords Face recognition, Occlusion recover, Multi-value mask PCA face reconstruction (MMPCA)

遮挡是影响人脸检测、识别的重要因素,它对人脸识别的影响远远超过了光照、表情的影响,在实际人脸图像处理过程中,遮挡经常会发生,特别是脸部重要特征点的遮挡,比如眼睛遮挡、嘴部遮挡。

1 眼镜遮挡处理方法

眼镜是人脸识别过程中常见的脸部遮挡物,严重影响着人脸识别准确率,如何消除眼镜遮挡成为研究的重点问题。2005 年,杜成、苏光大提出了通过自适应二值化检测眼镜遮挡区域,并由误差补偿合成不戴眼镜的人脸图像,实现了眼镜的摘除^[1]。王志明于 2010 年提出了模糊主分量分析(FPCA)的人脸遮挡检测和消除遮挡物的方法^[2],如图 1 所示。Wu 通过隐变量估计戴眼镜和不戴眼镜人脸的联合分布概率,将人脸投影到戴眼镜特征脸上得到最优系数,通过最大化隐变量后验概率估计不戴眼镜特征脸系数^[3]。Colombo 等人使用

GPCA 来重建被遮挡的三维人脸图像^[4]。Smet M D 等人在 PCA 分析的基础上添加了形状模型和纹理模型,以重建出逼真的人脸图像^[5]。T sudak 等人提出了一种基于 l_1 -范式惩罚规则的识别噪声或被遮挡像素的算法,但预先需要估计被遮挡的像素比率^[6]。Mo 等人提出一种仅使用正面训练样本重建被遮挡人脸的方法^[7]。Zheng 等人使用与原始被遮挡人脸更相似的样本重建人脸^[8]。

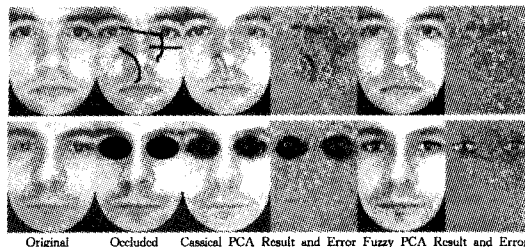


图 1 FPCA 遮挡人脸重建方法(图片来自于文献[2])

到稿日期:2012-09-11 返修日期:2012-12-25

杜杏菁(1976—),女,博士生,讲师,主要研究方向为生物识别,E-mail:dxj761017@ncist.edu.cn;郭明雄(1972—),男,硕士,工程师,主要研究方向为数控技术。

侯鸿川实现了红外人脸图像中眼镜的摘除^[9,10],如图 2 所示。



图 2 红外人脸图像眼镜检测和平均信息(图片来自于文献[10])

摘除眼镜重建人脸的主要方法有主成分分析法(PCA)、缺口主成分分析(GPCA)、模糊主分量分析(FPCA)。这些方法实现遮挡区域重建的思想是使用主成分分析重建,产生无眼镜人脸图像,实现眼镜的摘除。但上述方法存在着抗干扰能力弱,并且只对眼镜遮挡进行了处理,很难推广到任意遮挡的情况。基于红外图像的遮挡区域检测方法存在着红外图像获取复杂等问题。

目前常用的脸部遮挡处理方法均未较好地解决遮挡对人脸识别产生的影响问题,特别是关键特征(如眼睛、嘴部)被遮挡的情况。因基于统计分析的方法有着明显的优势,安高云在其博士论文中提出了抗遮挡干扰的有监督面像合成模型^[11],该方法根据网格遮挡生成了有监督的网格遮挡掩模,实现了网格遮挡人脸的恢复,但仍然存在两个方面的问题:遮挡类型需预先给出,没有实现遮挡类型的自动判断;针对网状遮挡实现了遮挡恢复,没有对其它情况进行研究。本文在分析了各种遮挡处理算法后,在安高云研究基础上,提出了自动多值掩模 PCA 人脸重建模型(自动 MMPCA 模型)。该模型包括 3 个关键步骤:自动确定人脸遮挡类型、寻找遮挡掩模、确定重建系数。首先,判断遮挡区域、确定遮挡类型;然后,寻找不同遮挡类型的遮挡掩模;最后,确定重建合成系数,从而实现遮挡区域的自动重建。从实验结果看,该模型能够有效地去除脸部遮挡物,恢复人脸图像,达到减弱遮挡对人脸识别影响的目的。

2 自动多值掩模 PCA 人脸重建模型(MMPCA 模型)

传统 PCA 重建算法是利用脸部的所有特征进行重建,结果不够准确。缺口 PCA 方法(GPCA)能区分遮挡与非遮挡区域,弥补 PCA 方法的不足,其定义式为:

$$(x, y)_z = \sum_{i=1}^m x_i y_i z_i \quad (1)$$

式中, z 是 0,1 向量,用来表示像素是否遮挡,1 表示遮挡,0 表示未遮挡,GPCA 方法只能用于遮挡类型已知的情况,且未考虑每个像素的自身特性值。将 GPCA 方法进行改进,使用 M 估计器估计每个像素的自身特性值,在(0,1)范围内进行重建,将 GPCA 方法的二值掩模变为多值变化掩模,称为自动 MMPCA 重建,自动是指遮挡类型能够通过判断自动确定。本节所涉及到的自动 MMPCA 人脸重建模型的建立包含遮挡类型的判断、最优人脸合成系数的确定、最优遮挡掩模的生成。其中遮挡掩模的生成是获取最优合成系数的基础,是消弱遮挡在人脸识别中影响的重要保证。

2.1 遮挡类型判断

遮挡区域的精确判断是确定脸部什么特征被遮挡了(眼

睛、嘴巴、鼻子、下巴等)。用无遮挡样本与待测人脸的特征脸之差来判断是否有遮挡,遮挡区域在哪里。PCA 变换用式(2)表示:

$$x + e = m + \sum_{i=1}^N y_i v_i \quad (2)$$

式中, x 是包括 n 个像素的待测图像, e 是近似误差, m 是平均人脸图像, y_i 是对应第 i 个特征脸的权重, $v_i (i=1, 2, 3, \dots, N)$ 是第 i 个特征脸。

$$\begin{aligned} x' &= m + \sum_{i=1}^N y_i^0 v_i \\ y^0 &= v^T \times (x^0 - m) \end{aligned} \quad (3)$$

式中, x^0 是待测图像的原始数据, x' 是新的重建人脸, x^1 第一次融合后的人脸图像, w 对于遮挡部分与非遮挡部分分别取 0 和 1,表明遮挡区域使用新的重建图像部分,非遮挡部分使用原始输入图像,通过上面的公式迭代计算直到系数 y 小于阈值为止。下面是遮挡部分的检测:

$$|e| = |x^{(k+1)'} - x^k| \quad (4)$$

式中, $|e|$ 值较大时认为是遮挡区域,相反则认为是非遮挡区域。

2.2 最优遮挡人脸合成系数

给定样本集 $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$,其中 N 为样本总数,样本 x_i 在 n 维空间中取值,最优人脸合成系数 y_i 在 m 维空间取值,且 $m < n$ 。

$$x_i' = \sum_{j=1}^m y_{ij} \omega_j \quad (5)$$

式中, x_i' 是合成后的样本, y_{ij} 是原始样本 x_i 与第 j 个人脸基图像对应的最优合成系数, $i=1, \dots, N, j=1, \dots, m$ 。定义第 q 个特征的原始图像与合成图像之间的残差脸为:

$$\delta_q = x_{iq} - x'_{iq}, q=1, \dots, n \quad (6)$$

根据 Charbonnier 等人^[12]给出的约束条件:

$$J = \min_y \sum_{q=1}^n \varphi(\delta_q) = \min_y \min_b \sum_{q=1}^n (b_q \left(\frac{\delta_q}{\sigma_q}\right)^2 + \beta(b_q)) \quad (7)$$

式中, b 是外部干扰面, σ 是最优人脸遮挡掩模, $\beta(\cdot)$ 是 b_q 的函数,对人脸来说, b_q 值趋向 1,对于遮挡物来说, b_q 值趋向 0,显然, b_q 仅仅是最优人脸遮挡掩模 σ_q 的反映,即 σ_q 才是真正的人脸遮挡区域的掩模,最优合成系数问题就是合成系数 y 和变量 b 的多目标优化问题。

2.3 最优遮挡人脸合成系数的求解

为了使上述目标优化问题能够收敛,并减少迭代次数和运算量,使用标准二次型函数和 3 种半二次型函数通过 4 次迭代进行求解^[11]。3 种半二次型函数及其导数如下:

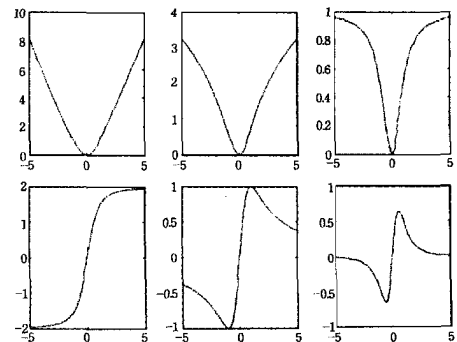


图 3 3 个函数原型及导数特性

$$\begin{aligned} \varphi_1(x) &= 2\sqrt{1+x^2} - 2, \varphi_1'(x) = 2x/\sqrt{1+x^2} \\ \varphi_2(x) &= \log(1+x^2), \varphi_2'(x) = 2x/(1+x^2) \\ \varphi_3(x) &= x^2/(1+x^2), \varphi_3'(x) = 2x/(1+x^2)^2 \end{aligned} \quad (8)$$

其中,第一个函数是一个凸函数,它的导数是单调函数;第二个函数是非凸函数,它的导数是弱振荡的;第三个函数是非凸的,它的导数是强振荡的,如图3所示。第一个函数可以保证唯一解,而第三个函数的强振荡导数可以有效地抑制外部干扰的影响,使用第二个函数的弱振荡导数来保证优化问题的最终收敛。最优合成系数的初始值选用PCA空间的最小均方差意义下求得的重建系数,迭代更新重建系数,求得最优合成系数 y 。

$$W_{PCA}^T B W_{PCA} y' = W_{PCA}^T B x \quad (9)$$

2.4 多值变化掩模的生成

首先定义人脸遮挡的类型,如墨镜遮挡、围巾遮挡、网状遮挡等。使用各种遮挡人脸图像,选用M估计器(M-estimator)对遮挡掩模进行估计,为不同像素点估计符合自身特性的幅度参数,其目标函数满足:

$$\begin{aligned} \min \sum \rho(e^2) &= \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^K \rho(|u_i - u_j|^2) \\ \psi &= \frac{d\rho}{de} \quad \omega = \frac{\psi}{e} \end{aligned} \quad (10)$$

式中, ρ 是在零值处有且只有一个最小值的对称正定目标函数, ψ 为影响函数, ω 为权函数。目标函数 ρ 选择不同,其影响函数和权函数也不相同。由M估计器估计的遮挡掩模 σ_q 满足如下公式:

$$\begin{aligned} \text{avg}_{p=1}^N \xi((g_{pq} - \theta(G))/\sigma_q) &= \beta, q=1, \dots, n \\ \theta(G) &= \begin{cases} g_{\frac{p+1}{2}, q}, & p \text{ 为奇数} \\ \frac{1}{2}(g_{\frac{p}{2}, q} + g_{\frac{p}{2}+1, q}), & p \text{ 为偶数} \end{cases} \end{aligned} \quad (11)$$

式中,avg表示N个样本的均值, g_p 是遮挡样本, β 为常数, $\theta(G)$ 是辅助中心估计, ξ 为一个平滑函数。

$$\xi(g) = \frac{(e^{g/\epsilon} - 1)^2}{(e^{g/\epsilon} + 1)^2} \quad (12)$$

在M估计中, β, ϵ 不同可以确定不同的遮挡掩模。在实际处理时,首先确定遮挡区域,即遮挡类型,就能确定遮挡掩模。通过多次实验获得墨镜和围巾遮挡情况下的参数值: β 取值为0.55, ϵ 取值为0.3633获得了墨镜遮挡的人脸掩模; β 取值为0.61, ϵ 取值为0.3742获得了围巾遮挡的人脸掩模,如图4所示。

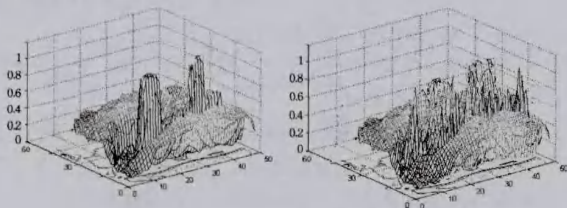


图4 遮挡掩模

2.5 重建无遮挡人脸

给定待处理的遮挡人脸,确定遮挡类型后,重建无遮挡人

脸的公式为:

$$x' = \sum_{i=1}^m y_i W_{PCA} \quad (13)$$

如果系统给出的人脸是无遮挡的情况,则遮挡掩模选用所有无遮挡样本形成的标准,如果人脸对应某一类遮挡,则选用相应的遮挡掩模进行重建。

3 实验分析

下面具体分析MMPCA模型减弱人脸遮挡,实现遮挡人脸重建的效果,并通过识别验证模型的有效性。

3.1 人脸基图像

人脸基图像在人脸重建过程中起到了重要的作用,基图像按照特征值大小顺序排列,图5列出了前45个人脸基图像。

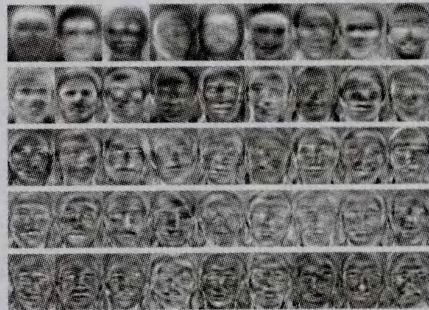


图5 前45个人脸基图像

3.2 PCA遮挡人脸重建

选取各种遮挡情况下的人脸进行实验,如图6是同一个人的不同遮挡样本。



图6 同一样本的不同遮挡图像

根据重建系数和特征脸重建人脸图像,图7是特征数量为50时,对图6中的样本进行PCA重建的结果。从图7看出,直接PCA人脸重建算法并不能有效地减弱人脸遮挡的影响。



图7 $m=50$ 时PCA重建各遮挡人脸

3.3 MMPCA遮挡人脸重建结果

使用MMPCA模型对墨镜、围巾遮挡人脸重建的结果如图8所示。从图8中可以看出,本文使用的MMPCA模型对墨镜、围巾遮挡的减弱有着明显的效果。



图8 本文算法重建

3.4 识别结果比较

为了验证MMPCA模型的有效性,采用AR人脸库中

100 个人的 6 幅墨镜遮挡和 6 幅围巾遮挡共 1200 幅人脸图像进行实验,如图 9 所示。

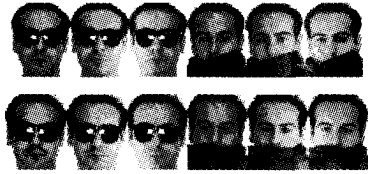


图 9 AR 库中的人脸样本

实验 1 测试直接 PCA 算法、GPCA 算法、MMPCA 模型在特征维数变化时的识别准确率。使用 AR 数据库中 100 个人的中性人脸图像作为训练样本,每人 12 幅遮挡图像作为测试样本,在特征维数为 50、100、150、190 时分别进行实验,得到表 1 中的数据结果。

表 1 特征维数变化时不同算法得到的识别准确率

特征维数	直接 PCA 算法	GPCA 算法	MMPCA 模型
50	66.93%	69.23%	70.62%
100	69.34%	76.55%	80.20%
150	72.74%	82.36%	85.42%
190	70.15%	81.84%	85.11%

由表 1 可看出,不同的特征维数影响着识别准确率,当特征维数由 50 增加到 150 时,识别准确率对各种算法来说都是升高,当由 150 再增加特征维数时,识别准确率并未增加,而是有所降低。使用 MMPCA 模型处理遮挡人脸后,识别率较 PCA 算法提高了约 13%,较 GPCA 算法有 4% 的提高。

实验 2 测试直接 PCA 算法、GPCA 算法、MMPCA 模型在特征维数为 150 时的识别准确率,测试在整个 AR 中进行,包括 126 幅中性人脸作为训练样本,756 幅遮挡图像作为测试样本,得到表 2 中的数据。

表 2 特征维数相同时各算法的识别率比较

项目	PCA 算法	GPCA 算法	MMPCA 模型
识别数量	525	584	637
误识数量	65	58	32
漏识数量	166	114	87
识别准确率	69.50%	77.83%	84.31%

通过表 2 所列数据可以看出,使用 MMPCA 模型处理后,识别准确率达到 84% 以上,与其它两种算法比较,识别准确率有明显提高,误识数量和漏识别数量也有明显降低,说明了算法的有效性。

实验 3 假设两个样本 x 、 y 之间的差异度用欧式距离 S_{xy} 表示,用中性人脸图像作为参考样本,估计遮挡人脸与参考样本之间的差异度。采用 AR 人脸库的子集中 5 个人每人 1 幅眼镜遮挡和 1 幅围巾遮挡,共 10 幅人脸图像作为测试集,并进行编号:1-5 号为墨镜遮挡测试样本,6-10 号为围巾遮挡测试样本,得出原始遮挡人脸、GPCA 处理后人脸、MMPCA 处理后人脸与参考样本之间的差异度及处理时间,如表 3 所列。

从表 3 中数据可以看出,处理 9 图像:GPCA 方法用时为 12s,MMPCA 模型用时为 15s,虽然 MMPCA 处理时间较 GPCA 算法有所增加,但经 MMPCA 模型处理后差异度明显较小,说明 MMPCA 模型处理人脸遮挡效果比较明显,是减

弱人脸遮挡的有效方法。

表 3 各算法处理后的人脸与参考样本之间差异度比较

序号	1	2	3	4	5	平均处理时间
原始图像	281.47	309.12	345.25	298.56	274.69	无处理
GPCA 处理	149.54	161.33	169.91	121.48	112.05	7s
MMPCA 处理	97.56	123.84	145.88	107.63	95.82	9s
序号	6	7	8	9	10	
原始图像	396.12	387.44	405.93	365.74	399.01	无处理
GPCA 处理	177.86	153.60	180.23	145.72	183.08	5s
MMPCA 重建	99.07	104.33	120.87	116.52	140.36	6s

结束语 本文在分析了人脸识别中眼镜处理算法的基础上,提出了自动多值掩模 PCA 重建人脸模型,该模型通过确定遮挡类型、计算遮挡掩模、寻找最优重建系数 3 步实现脸部遮挡区域恢复。通过与直接 PCA 算法比较,其重建效果明显优越,证明使用 MMPCA 模型重建人脸实现了遮挡区域恢复。通过人脸识别实验,与直接 PCA、GPCA 算法比较,MMPCA 模型处理后识别准确率达到 84%,验证了 MMPCA 模型的有效性。

参考文献

- [1] 杜成,苏光大.用于人脸识别的正面人脸图像眼镜摘除[J].清华大学学报:自然科学版,2005,45(7):928-930
- [2] 王志明,陶建华.人脸遮挡区域检测与重建[J].计算机研究与发展,2010,47(1):16-22
- [3] Chenu W, Ce L, Shu M. Automatic Eyeglasses Removal from Face Images[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2004,26(30):322-336
- [4] Colombo A, Cusana C, Schettini R. Detection and Restoration of Occlusions for 3D Face Recognition[C]// IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2006:1541-1544
- [5] Smet M D, Fransens R, Gool L V. A Generalized EM Approach for 3D Model Based Face Recognition Under Occlusions[C]// IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2006:1423-1430
- [6] Tsuda K, Ratsch G. Image Reconstruction by Linear Programming[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005,14(6):737-744
- [7] Mo Z, Lewis J P, Neumann U. Face Inpainting with Local Linear Representations[C]// Electronic Proceedings of British Machine Vision Conference, 2004:399-407
- [8] Zheng W S, Lai J H. Regularized Locality Preserving Learning of Pre image Problem in Kernel Principal Component Analysis [C]// IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2006:456-459
- [9] 候鸿川.面部温谱图身份识别技术探讨[J].中国人民公安大学学报,2005,3(3):17-21
- [10] 陈雪蓉,敬忠良,孙邵缘.一种处理红外人脸识别中眼镜干扰的方法[J].上海交通大学学报,2010,8(11):44-49
- [11] 安高云.复杂条件人脸识别中的若干关键问题的研究[D].北京:北京交通大学,2008
- [12] Charbonnier P, Blanc-Feraud L, Aubert G. Deterministic Edgepreserving Regularization in Computed Imaging[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997,6(2):298-311