

文章编号 1004-924X(2014)05-1371-08

基于人脸画像的伪照片合成及修正

李伟红^{*}, 朱宪宇, 龚卫国

(重庆大学 光电工程学院 光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400044)

摘要:提出一种基于人脸画像的伪照片合成及修正方法,该方法包括人脸伪照片的合成、增强以及局部修正 3 个部分。首先,应用局部本征变换(LET)方法合成人脸伪照片的初始估计。然后,提取人脸画像的边缘和纹理信息对人脸伪照片进行增强以改善合成结果的视觉效果。最后,通过移动最小二乘法对伪照片局部合成错误进行修正。在 CUHK student 人脸画像库上进行了实验,对转换结果与真实人脸照片进行了比较。结果表明:提出的方法可以有效地合成人脸伪照片,对人脸伪照片能够进行有效增强和修正,且在修正局部合成错误的同时能够保证整体相似度不会下降。由于本文的方法只涉及到局部区域的变形,所以不需要依靠神经网络来预测输出结果中控制点的目标位置,从而降低了计算的复杂度。

关键词:人脸画像;人脸伪照片;伪照片处理;局部本征变换;移动最小二乘法

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20142205.1371

Pseudophoto synthesis based on face sketch and its amendment

LI Wei-hong^{*}, ZHU Xian-yu, GONG Wei-guo

(Key Laboratory of Optoelectronic Technology and System of the Ministry of Education,
College of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

^{*} Corresponding author, E-mail: weihongli@cqu.edu.cn

Abstract: A method was proposed to transform a face sketch into a pseudophoto and to amend the synthesized pseudophoto. It consists of three procedures for the face pseudophoto: synthesizing, enhancement and local amendment. Firstly, the initial face pseudophoto was synthesized by Local Eigentransformation Technique (LET). Then, the edge features and textures of the face sketch were enhanced to improve the visual effect of synthesized pseudophoto. Finally, the local synthesis error of the face pseudophoto was amended by moving least squares algorithm. The experiment was performed on the CUHK face sketch database and the transformation was compared with real photos. Result shows that the method can effectively synthesize and amend the pseudophoto and can guarantee the similarity with sufficient amendment. As the proposed method only involves the deformation of a local region, it is independent on the neural network to predict the target location in control points. So, it has lowered the computing complexity.

Key words: face sketch; face pseudophoto; pseudophoto processing; local eigentransformation; moving least square method

收稿日期:2013-08-16;修订日期:2013-09-29.

基金项目:重庆市重点科技攻关资助项目(No. CSTC2012-YYJSB40001);国家自然科学基金青年基金资助项目(No. 61105093)

1 引言

在刑侦执法过程中,当不能确定犯罪嫌疑人身份也无法获得其照片时,公安机关会要求专业人员按照目击者的描述绘制出嫌疑人的素描画像。根据该素描画像,公安机关可以向社会公众征集相关线索和信息。根据人脸画像合成的人脸伪照片具有和真实人脸照片相似的视觉效果,它比素描画像更生动直观、易于辨认,对于犯罪嫌疑人身份的人工及自动识别可以起到较大的辅助作用。

合成人脸伪照片的难点在于寻找人脸画像和人脸照片之间的映射关系。香港中文大学的汤晓鸥等^[1]首先提出了基于全局本征变换(Eigen-transformation, ET)的方法,该方法假设照片与画像之间的映射关系是线性的。其后的研究表明,这一映射关系不能简单地归结为全局的线性关系。因此,Liu 等人^[2]将流形学习的方法引入人脸画像合成中,利用局部线性嵌入(Local Linear Embedding, LLE)方法学习照片与画像之间的非线性关系;但是该方法求解重构系数时只用到了训练集中最近邻的几个样本,在部分区域会存在较大的重构误差。针对这一问题,汤晓鸥等^[3]又提出采用多尺度马尔可夫随机场模型来改善合成效果。为了发掘画像和照片之间复杂的非线性关系,Xiao 等^[4]提出了基于嵌入式隐马尔可夫模型的人脸伪照片合成算法。为了提高人脸伪照片的清晰度,Gao 等^[5]提出利用稀疏表示来对人脸伪画像进行合成和补偿,但基于隐马尔可夫模型和稀疏表示方法^[6]的计算复杂度高。

根据上述方法合成的人脸伪照片与真实人脸照片相比,在高频和细节信息上存在一定的差距,这对视觉效果会有一些影响。图像增强的有效方法各异^[7-9],Zhang 等^[8]提出利用支持向量回归方法对伪照片的初始估计进行增强,而Liu 等^[9]提出贝叶斯张量推理方法对伪照片的初始估计进行补偿。这 2 种方法均考虑了人脸伪照片增强和人脸伪画像增强问题,从而加大了运算的复杂度。

为了修正人脸伪照片中某些局部区域存在的合成错误,Purkait 等^[10]提出了基于控制点的整体变形方法。该方法可以减少部分区域的合成错

误,但由于修正过程中涉及到人脸的整体变形,因此,输出的人脸伪照片与真实的人脸照片的整体相似度不可避免地会出现一定程度的下降。同时,该方法必须依靠复杂的神经网络来预测输出结果中大量控制点的目标位置。

本文提出一种人脸伪照片的合成及修正方法。首先,基于局部本征变换方法^[11](Local Eigen Transformation, LET)合成人脸伪照片的初始估计。然后,根据输入人脸画像的特点,提出一种更简单有效的增强方法,以改善合成伪照片的视觉效果。受文献^[10]方法的启发,本文根据主动形状模型(Active Shape Model, ASM)^[12]获得人脸画像的控制点。但是在基于控制点进行变形时,本文提出通过采用移动最小二乘法^[13]将与平均位置相差较大的局部区域变形到统一的平均位置,并保持其他重要区域位置不变。这种变形方法不需要将整张人脸画像都变形为平均形状,可在修正局部合成错误的同时保证整体相似度不会下降。由于本文的方法只涉及到局部区域的变形,所以不需要依靠神经网络来预测输出结果中控制点的目标位置,从而降低了计算的复杂度。最后,本文在 CUHK student 人脸画像库中进行了实验。

2 人脸伪照片的合成

文献^[1]提出了一种基于全局本征变换的人脸伪照片合成方法。该方法将人脸画像与人脸照片之间的映射关系转化为线性权重系数,并将该系数从画像空间传递到照片空间,最后在照片空间中根据线性组合的方式合成出人脸伪照片。这是一种全局的线性转换方法,其人脸伪照片的合成效果如图 1 所示。



图 1 全局本征变换的人脸伪照片合成效果

Fig. 1 Synthesis results of face pseudophoto based on ET

由图 1 的合成效果可以看出,以五官区域为中心,外围区域的重构误差逐渐增多,因此,整

体合成效果受到较大影响, 这说明人脸画像与人脸照片之间的映射关系不能简单地归结为全局的线性关系。人脸画像与照片之间的转换算法以人脸画像的分块为基础比较合理, 即先将人脸画像分割为大小相同的画像块, 然后对每一个画像块进行单独转换, 最后将各个块的转换结果拼接起来, 得到整体的转换结果。这些以分块为基础的转换算法能更好地学习人脸画像与照片之间非线性的映射关系。基于此, 本文将人脸超分辨率重建技术中的局部本征变换方法引入人脸伪照片合成中。

每一幅人脸画像或照片都可以被分割成相互重叠的图像块。因此, 每一幅人脸画像或照片都可以看成由 K 个图像块 $I^j (j=1, 2, \dots, K)$ 组成的块矩阵, 用 $I(x, y)$ 表示位于该块矩阵中第 x 行第 y 列的图像块, 该图像块与和它相邻的 8 个图像块都有重叠, 其具体的位置关系如图 2 所示。

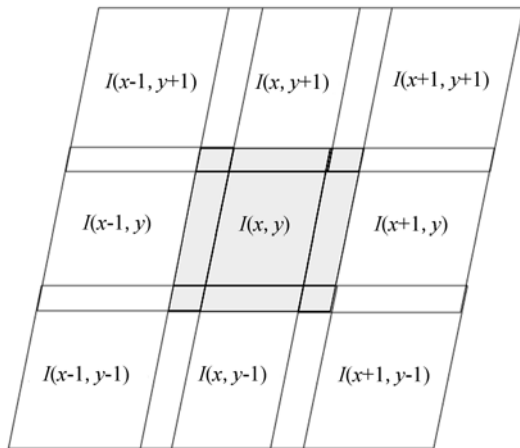


图 2 重叠分块时相邻块的位置关系

Fig. 2 Relationship of adjacent blocks of image during overlapping dividing

Ji 等^[14] 提出基于局部回归模型的方法来根据人脸照片自动生成人脸伪画像。对于重叠分块后得到的人脸画像或照片块, 假设 2 个照片块在结构或纹理上是相似的, 则与其对应的 2 个画像块也是大致相似的。因此, 人脸伪画像块可以根据相应的人脸照片块转换得到。在合成画像的过程中, 每一个输入的人脸照片块都可以用训练集中照片块的加权组合来重构, 再将这一重构系数传递至画像空间, 利用训练集中的画像块可以合成人脸伪画像块。在求解重构系数时, 该文列举

了 4 种基于局部回归的方法。

本文采用的将人脸画像的重叠分块与本征变换相结合的假设与文献[14]的方法相同, 但是在求解重构系数时, 与他们提出的局部回归模型相比, 局部本征变换不需要复杂的约束条件, 也能保持较好的重构效果。本文提出的基于局部本征变换方法合成人脸伪照片的基本框架如图 3 所示。

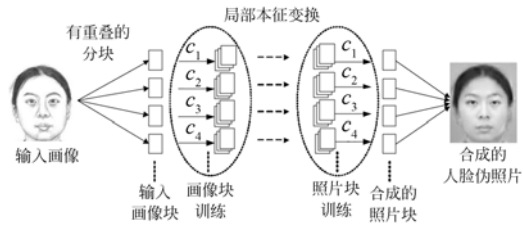


图 3 局部本征变换方法合成人脸伪照片的基本框架图

Fig. 3 Basic framework of face pseudophoto synthesis based on LET method

局部本征变换合成人脸伪照片的流程如下:

- (1) 按照同样的大小和块数, 对训练集中的画像和照片以及输入的人脸画像进行重叠分块。
- (2) 对于某一个输入画像块 S^j , 通过主成分分析计算其相同位置的训练集画像块的特征向量:

$$U_s^j = A_s^j V_s^j \Lambda_s^{j-1/2}, \quad (1)$$

式中: $A_s^j = [S_1^j - m_s^j, \dots, S_M^j - m_s^j] = [S_1^j, \dots, S_M^j]$, 表示减去画像块均值 m_s^j 后的训练集画像块矩阵。 V_s^j 和 Λ_s^j 分别表示 $A_s^{jT} A_s^j$ 的特征向量和特征值。

- (3) 将去均值后的输入画像块投影到 U_s^j 中得到投影系数:

$$w_s^j = U_s^{jT} (S^j - m_s^j), \quad (2)$$

并求得输入画像块在训练集画像块中的重构系数:

$$c^j = V_s^j \Lambda_s^{j-1/2} w_s^j = [c_1^j, \dots, c_M^j]^T. \quad (3)$$

- (4) 利用该重构系数 c^j 在训练集照片块中进行重构, 得到由输入画像块转换成的人脸伪照片块:

$$P_r^j = \sum_{i=1}^M c_i^j P_i^j + m_p^j, \quad (4)$$

式中: P_i^j 表示去均值后的训练集照片块矩阵, m_p^j 表示照片块均值。

- (5) 重复第(2)到第(4)步, 直到所有的输入

画像块都转换为人脸伪照片块。然后,将同一幅人脸的所有伪照片块按照取块时的位置拼接回去,就可以得到全局的人脸伪照片。在拼接图像块时,各相邻块的重叠区域的灰度值等于各重叠块的平均值。



图 4 人脸伪照片合成结果(第 1 行为测试画像,第 2 行为局部本征变换的合成结果,第 3 行为真实照片)

Fig. 4 Results of face pseudophoto synthesis (the first row is the input sketches, the second row is the results of LET, and the third row is the real face photos)

3 人脸伪照片的增强和修正

3.1 人脸伪照片的增强

从图 4 的合成结果可以看出,人脸伪照片与真实人脸照片相比,在头发、轮廓等区域的边缘、纹理信息上存在一定差距,人脸伪照片的这部分区域比较模糊,对其视觉效果造成了一定的影响。因此,需要对这些区域的边缘、纹理信息进行增强。

针对这一问题,文献[8]利用支持向量回归方法从训练集中得到高频信息,然后对伪照片的初始估计进行补偿。文献[9]利用贝叶斯张量推理生成高频和细节信息,并对初始估计进行增强。这一类方法虽然既能用于增强人脸伪画像,也能用于增强人脸伪照片,但是其运算复杂度较高。本文则提出一种更加简单高效的增强方法。基本方法是,对人脸画像的五官区域进行遮挡,只保留轮廓等信息。然后对遮挡后的图像进行灰

度提升,只提取出较为突出的边缘、纹理等信息。最后将提取出的图像与人脸伪照片的初始估计相乘,就可以完成对初始估计的增强。人脸伪照片的增强方法基本框架如图 5 所示。

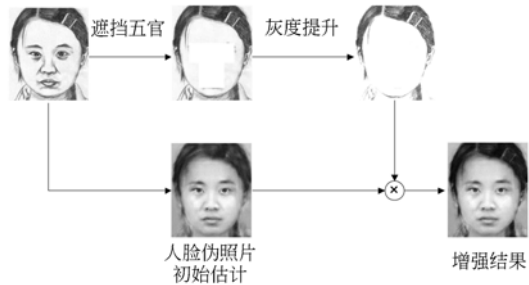


图 5 人脸伪照片的增强方法基本框架图

Fig. 5 Basic framework of enhancement method of face pseudophoto

3.2 人脸伪照片的局部修正

部分人脸伪照片的嘴唇区域或脸部边缘轮廓在合成时存在较大的错误,如图 6 所示。这是由于局部本征变换方法要求输入的画像块与训练集中的画像块在纹理和结构上应该具有较高的相似度。如果某幅人脸画像中嘴唇的位置与训练集中人脸画像平均的嘴唇位置存在较大偏差,则该画像嘴唇区域输入的各个画像块都会在错误位置的训练集画像块中进行重构,就会造成该人脸伪照片的整个嘴唇区域无法正确合成。



图 6 人脸伪照片的局部合成错误示意图

Fig. 6 Illustration of local synthesis error of face pseudophoto

为了让输入人脸画像与训练集中人脸画像各个区域的画像块都能够实现严格对应,文献[10]采用了基于控制点的整体变形方法。该方法根据 ASM 获得训练集中所有人脸照片和画像的控制点,并计算出各控制点的平均位置。这些位于平均位置的控制点确定了一个人脸照片和画像共同的平均形状。输入的人脸画像以及训练集中的人

脸画像和照片都被变形成平均形状。因此, 输出的人脸伪照片同样也呈现平均形状。最后, 采用神经网络预测出人脸伪照片各控制点应该在的位置, 并将其变形回与输入画像对应的原始形状。该方法虽然可以减少部分区域的合成错误, 但由于修正过程中涉及到人脸所有区域的整体变形。因此, 输出的人脸伪照片与真实的人脸照片相比, 在整体相似度上不可避免地会出现一定程度的下降, 如图 7 所示。而且, 该方法必须依靠复杂的神经网络来预测输出结果中大量控制点的目标位置。



图 7 基于控制点的整体变形方法的人脸伪照片合成结果(从上至下): 测试画像、合成照片、真实照片

Fig. 7 Results of control-point based global deformation methods(from top to bottom): input sketches, pseudophotos, real face photos

本文提出的基于控制点的局部变形方法的处理流程如下:

(1) 重新输入测试画像, 利用文献[12]中的主动形状模型获取测试画像以及训练集中每一张画像的 75 个特征点, 根据这些特征点可以计算出画像嘴唇区域 8 个特征点各自的平均位置。

(2) 利用移动最小二乘法对测试画像进行基于控制点的变形。本文中选取眼睛区域的 6 个特征点、鼻子区域的 3 个特征点以及嘴唇区域的 8 个特征点作为变形控制点。将变形前的控制点坐标标记为 $d_i, i=1, 2, \dots, 17$, 变形后的控制点坐标标记为 $s_i, i=1, 2, \dots, 17$, 控制点的集合 d 和 s 中后 8 个点为嘴唇区域的控制点。为了将测试画

像上的嘴唇区域移动至平均位置, 同时保持眼睛等其他重要区域的位置不变, 需要令 s 的前 9 个点等于 d 的前 9 个点, s 的后 8 个点等于嘴唇区域 8 个特征点各自的平均位置。本文中基于控制点的变形采用的是逆向映射, 即对于变形后的测试画像中的任一像素点 v , 需要求出其变形前的位置 $f(v)$, 然后将该位置像素点的灰度值赋给变形后对应的像素点。该变形函数 f 可使得下式取最小值:

$$\sum_i \omega_i |f(s_i) - d_i|^2, \quad (5)$$

式中: $\omega_i = 1/|s_i - v|^{2\alpha}$ 为权重, α 为调节变形效果的参数, 取值为 2。

本方法中选择的变形函数为刚性变换变形函数, 其表达式为:

$$f_r(v) = \sum_i \hat{d}_i \left(\frac{1}{k_r} \mathbf{A}_i \right) + d_*, \quad (6)$$

式中:

$$\mathbf{A}_i = \omega_i \begin{bmatrix} \hat{s}_i \\ -\hat{s}_i^\perp \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v - s_* \\ -(v - s_*)^\perp \end{bmatrix}^T, \quad (7)$$

$$k_r = \sqrt{\sum_i (\omega_i \hat{d}_i \hat{s}_i^T)^2 + \sum_i (\omega_i \hat{d}_i \hat{s}_i^{\perp T})^2}, \quad (8)$$

式中: $\hat{s}_i = s_i - s_*$, $\hat{d}_i = d_i - d_*$, $s_* = \sum_i \omega_i s_i / \sum_i \omega_i$, $d_* = \sum_i \omega_i d_i / \sum_i \omega_i$, \perp 是一个二维向量操作符, $(x, y)^\perp = (-y, x)^\perp$ 。上述基于控制点的局部变形如图 8 所示。



图 8 基于控制点的人脸画像变形(从左至右): 原始画像、变形后的人脸画像

Fig. 8 Face sketch deformation based on control points (from left to right): Original sketch, face sketch after deformation

(3) 将变形后的测试画像重新经过局部本征变换处理合成出初始估计并进行增强, 这时其嘴唇区域的合成错误已经得到了修正, 但是其嘴唇区域仍位于平均位置。

(4) 采用基于控制点的局部变形方法, 根据

测试画像原有的特征点位置,将人脸伪照片的嘴唇区域变形回其原始位置,从而完成人脸伪照片的局部修正并输出该人脸伪照片。该变形过程如图 9 所示。



图 9 基于控制点的人脸伪照片变形(从左至右):变形前的伪照片、变形后的伪照片

Fig. 9 Face pseudophoto deformation based on control points (from left to right): Original pseudophoto, pseudophoto after deformation

4 实验结果

本文在 CUHK student 人脸画像库上进行实验。选择其中 88 对画像和照片作为训练集,剩余的 100 张人脸画像作为待转换的对象,将转换的结果与真实人脸照片进行比较。采用局部本征变换将人脸画像转换成人脸伪照片时,所有画像和照片的尺寸裁剪至 160×190 ,分块大小为 12×12 ,相邻块重叠区域为 $1/3$ 。

图 10 所示为 ET 方法、LLE 方法和 LET 方法的人脸伪照片合成结果对比。LLE 方法是一种较为经典的非线性人脸画像转换方法,近年来有很多文献以它为基础进行后续改进。

从实验结果可以看出,ET 方法会产生明显的虚影现象,LLE 方法也会产生较多的合成错误,而 LET 方法不仅去除了人脸轮廓的虚影,而且也保证了五官区域有较为清晰、平滑的合成效果。

图 11 所示为增强前后的人脸伪照片,其中增强前的人脸伪照片是采用 LET 方法合成的。增强后人脸伪照片的纹理和轮廓变得更为清晰和突出,从而使得整体的视觉效果有一定的提升。虽然这些部分增强与否对于自动识别效果的影响较小,但是对于伪照片整体的视觉效果有一定的影响。

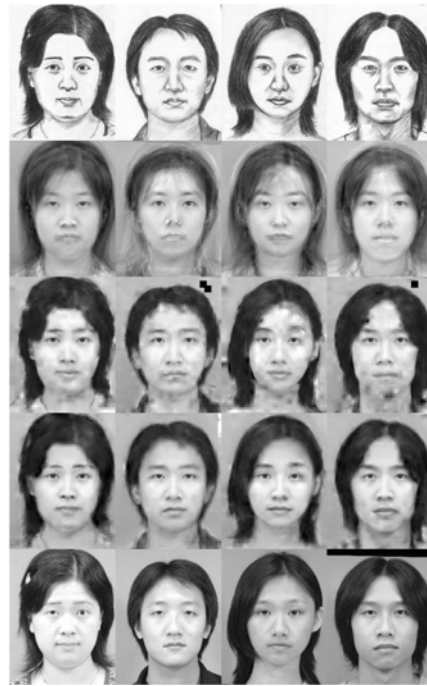


图 10 人脸伪照片合成结果(从上至下):测试画像、全局本征变换、局部线性嵌入、局部本征变换、真实照片

Fig. 10 Results of face pseudophoto synthesis (from top to bottom): input sketches, ET, LLE, LET, real face photos

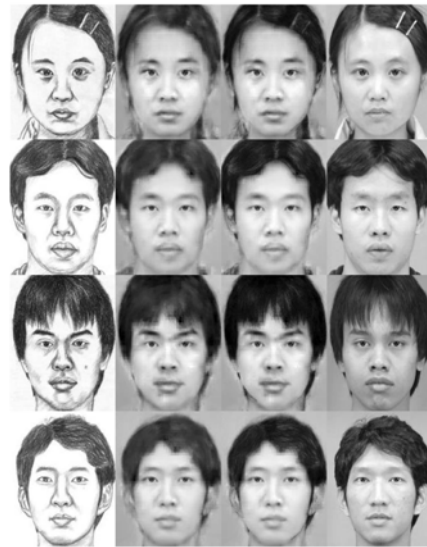


图 11 人脸伪照片的增强结果(从左至右):测试画像、增强前的伪照片、增强后的伪照片、真实照片

Fig. 11 Face pseudophotos before and after enhancement (from left to right): input sketches, pseudophotos before enhancement, pseudophotos after enhancement, real face photos

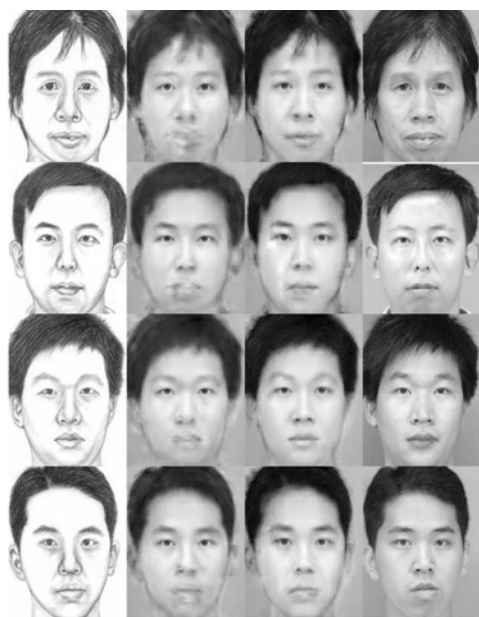


图 12 人脸伪照片的修正结果(从左至右):测试画像、修正前的伪照片、修正后的伪照片、真实照片

Fig. 12 Face pseudophotos before and after amendment (from left to right): input sketches, pseudophotos before amendment, pseudophotos after amendment, real face photos

图 12 所示为局部修正前后的人脸伪照片。从实验结果可以看出,嘴唇区域的局部合成错误可以得到明显的修正,从而使得伪照片的视觉效

果得到较大的改善。因此,对于部分存在局部合成错误的人脸伪照片,对其合成错误进行修正是很有必要的。

5 结 论

本文提出了一种伪照片的合成和修正方法。该方法首先通过局部本征变换将输入的人脸画像转换为人脸伪照片进行初始估计。然后,根据人脸画像的特性,提出一种简单、有效的纹理和边缘信息提取方法,并利用这些提取的信息对人脸伪照片的初始估计进行增强。最后,针对合成结果中的部分局部合成错误,由 ASM 获得人脸画像控制点,再采用基于控制点的局部变形方法对其进行修正。

现有的很多基于人脸图像变换的方法都将人脸照片转换为人脸伪画像,其目的是为了实现在真实画像与人脸伪画像之间的自动识别。本文提出的方法侧重于实现人脸画像向人脸伪照片的转换,以及提升转换后人脸的视觉效果,能够为刑侦破案过程中人脸素描画像的人工及自动识别提供一定帮助。

参考文献:

- [1] TANG X O, WANG X G. Face sketch recognition [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2004, 14(1):50-57.
- [2] LIU Q SH, TANG X O, JIN H L, *et al.* A nonlinear approach for face sketch synthesis and recognition [C]. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2005, (1): 1005-1010.
- [3] WANG X G, TANG X O. Face photo-sketch synthesis and recognition [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2009, 31(11):1955-1967.
- [4] XIAO B, GAO X B, TAO D CH, *et al.* A new approach for face recognition by sketches in photos [J]. *Signal Processing*, 2009, 89(8):1576-1588.
- [5] GAO X B, WANG N N, TAO D CH, *et al.* Face sketch-photo synthesis and retrieval using sparse representation [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2012, 22(8): 1213-1226.
- [6] 穆治亚,魏仲慧,何昕,等.采用稀疏表示的红外图像自适应杂波抑制[J].*光学精密工程*,2013,21(7): 1850-1857.
MU ZH Y, WEI ZH H, HE X, *et al.* Adaptive clutter suppression of infrared images by using sparse representation [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(7):1850-1857. (in Chinese)
- [7] 韩希珍,赵建.结合偏微分方程增强图像纹理及对比度[J].*光学精密工程*,2012,20(6):1382-1388.
HAN X ZH, ZHAO J. Enhancement of image tex-

- ture and contrast combined with partial differential equation [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012, 20(6): 1382-1388. (in Chinese)
- [8] ZHANG J W, WANG N N, GAO X B, *et al.*. Face sketch-photo synthesis based on support vector regression [C]. *18th IEEE International Conference on Image Processing*, 2011:1125-1128.
- [9] LIU W, TANG X O, LIU J Z. Bayesian tensor inference for sketch-based facial photo hallucination [J]. *International Joint Conference on Artificial Intelligence*, 2007:2141-2146.
- [10] PURKAITP, CHANDA B, KULKARNI S. A novel technique for sketch to photo synthesis [C]. *Seventh Indian Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 2010:219-226.
- [11] LIU L CH, LI W H, TANG SH, *et al.*. A novel separating strategy for face hallucination [C]. *19th IEEE International Conference on Image Processing*, 2012,1849-1852.
- [12] BLAKE A, ISARD M. *Active Shape Models* [M]. London:Springer,1998.
- [13] LEVIN D. The approximation power of moving least squares [J]. *Mathematics of Computation*, 1998, 67(224):1517-1531.
- [14] JI N, CHAI X J, SHAN SH G, *et al.*. Local regression model for automatic face sketch generation [C]. *Sixth International Conference on Image and Graphics*, 2011:412-417.

导师简介:



李伟红(1962—),女,四川自贡人,博士,副教授,2006年于重庆大学光电工程学院获得博士学位,主要从事模式识别、图像处理等方面的研究。E-mail:weihongli@cqu.edu.cn

作者简介:



朱宪宇(1987—),男,湖南益阳人,硕士研究生,2009年、2013年于重庆大学光电学院获得学士、硕士学位,主要从事模式识别、图像处理等方面的研究。E-mail:zhuxianyu@cqu.edu.cn

(版权所有 未经许可 不得转载)