

# 非限定条件下无约束的多姿态人脸关键特征自动识别算法

赵志伟 倪桂强

(陆军工程大学指挥控制工程学院 南京 210007)

**摘 要** 多姿态人脸关键特征的自动识别,对处理人脸数据库中的图像具有重要意义。为了保证人脸关键特征被准确识别,需要对人脸关键特征进行提取。传统算法对多姿态人脸关键特征进行自动识别时有效性差、识别率低、效率低。为此,文中提出了一种基于向量机的多姿态人脸关键特征自动识别算法,利用相机的焦距将人脸关键特征图像的三维坐标表示出来,计算出多姿态人脸关键特征的三维信息。利用滤波器处理多姿态人脸的关键特征并对其提取,最后根据向量机的权值,对人脸关键特征的目标函数和特征中的噪声进行分析,计算人脸自动识别的条件概率和迭代次数,实现非限定条件下无约束多姿态人脸关键特征的自动识别。实验结果表明,所提算法能够对多姿态人脸关键特征进行自动识别,并且具有较高的识别率。

**关键词** 非限定条件,无约束多姿态,人脸关键特征,自动识别

中图分类号 TP391.41 文献标识码 A DOI 10.11896/j.issn.1002-137X.2019.09.037

## Automatic Recognition Algorithm for Unconstrained Multi-pose Face Key Features under Unqualified Conditions

ZHAO Zhi-wei NI Gui-qiang

(Institute of Command and Control Engineering, Army Engineering University, Nanjing 210007, China)

**Abstract** Automatic recognition of multi-pose faces key features is of great significance to the processing of images in face database. In order to ensure that face key features are accurately recognized, it is necessary to extract key features of the face. When the traditional algorithm is used to automatically recognize multi-pose face key features, the obtained face images are of poor efficiency, low recognition rate and low efficiency. This paper presented an automatic multi-pose face feature recognition algorithm based on vector machine. The 3D coordinate of the face key feature image is represented by the focal length of the camera, and the 3D information of the multi-pose face key feature is calculated. Filter is used to deal with multi-pose face key features. Finally, according to the weight of the vector machine, this paper analyzed the target function and the noise of face key features, calculated the condition probability and the iteration number of the face automatic recognition, and realized the automatic recognition of the key features of unconstrained multi-pose face under the unqualified condition. Experiment results show that the proposed algorithm can be used to automatically identify the multi-pose face key features, and has high recognition rate and recognition efficiency.

**Keywords** Unqualified conditions, Unconstrained multi-pose, Face key feature, Automatic identification

## 1 引言

目前,多姿态人脸关键特征识别已经受到国内外学者的广泛关注,出现了大量的人脸识别研究院校。这些院校都对人脸自动识别算法进行了研究并取得了一定的成果。多姿态人脸关键特征自动识别算法在众多领域中具有重要意义,并成为了主要研究方向。随着人脸关键特征识别走向产品化,人脸识别系统也逐渐进入市场,但多姿态的人脸关键特征识别只能在限定条件无约束下使用,受到了一定的限制,影响了多姿态人脸关键特征识别的发展。人脸关键特征识别是一种对人脸信息进行处理的技术,具有较高的研究价值。随着科

技的发展,人脸特征识别将被应用到更多的领域中,如人机交互、安全监控和照相技术等。在这些领域中,人脸关键特征自动识别算法不仅是研究的核心,还有保证身份安全的作用。通常,该类算法将人脸的多种姿态图像当作训练样本,构建多姿态人脸关键特征的数据库,识别时输入人脸特征图像进行对比<sup>[1]</sup>。目前,在非限定条件下无约束的多姿态人脸关键特征自动识别已引起广大学者的重视。由于获取人脸关键特征的图像时受到光照、面部表情和多姿态变化的影响,需要对以上问题进行深入研究。

文献[2]提出了一种基于改进深层网络的多姿态人脸关键特征自动识别算法。该算法需要对人脸图像进行预处理,

到稿日期:2018-08-31 返修日期:2018-10-23 本文受 863 项目(2012AA01A509),中国高校科技期刊研究会基金(GBJXB1110)资助。

赵志伟(1982—),男,博士生,主要研究方向为计算机视觉、深度学习;倪桂强(1966—),男,博士,教授,主要研究方向为网络管理、计算机图形学,E-mail:290604464@qq.com(通信作者)。

减小人脸图像特征的相关性,降低网络训练的复杂度,利用人脸图像特征建立深层的网络特征提取器,对多姿态人脸关键特征建立特征模型,并对特征进行分类,实现人脸关键特征的自动识别,但该方法存在人脸关键特征识别率较低的问题。文献[3]提出了一种基于投影分析字典的多姿态人脸关键特征自动识别算法。其对人脸图像各种方向尺度的特征进行提取,并分析特征的主成分,将特征当作训练数据替换初始的数据样本;根据数据与投影分析字典对人脸图像的系数矩阵进行求解和重构,以完成人脸关键特征的自动识别。但该方法的识别率较低。文献[4]提出了基于核低秩表示的多姿态人脸关键特征自动识别算法,对人脸样本图的特征进行LBP提取,利用映射函数将其特征投影到高维空间中,建立特征矩阵来对人脸图像进行识别,实现高效率的多姿态人脸关键特征自动识别。但该方法人脸关键特征识别的有效性差、效率低。

为解决上述3种方法中存在的问题,文中提出了一种基于向量机的多姿态人脸关键特征自动识别算法。

## 2 多姿态人脸关键特征变化

本节对多姿态人脸关键特征的变化进行分析,人脸特征图像的自由变化如图1所示。

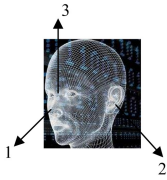


图1 人脸关键特征的自由变化图

Fig. 1 Free change graph of key features of face

由图1可以看出,对于人脸能够划分出3个自由度,可以沿3个点对人脸进行旋转,实现对人脸图像的平移或倾斜<sup>[5-6]</sup>。为了减少多姿态人脸关键特征识别的通道,在识别前需要确定候选姿态,根据候选姿态的人脸关键特征进行识别和融合,多姿态人脸关键特征自动识别的框架如图2所示。

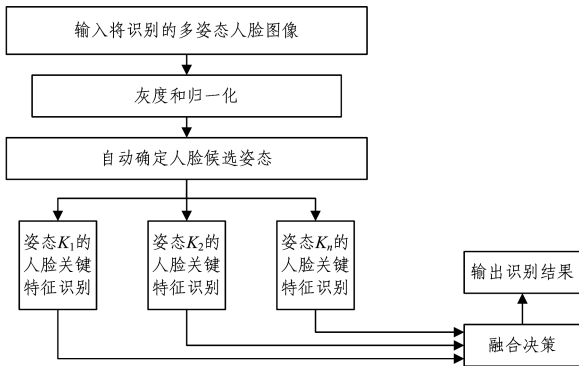


图2 多姿态人脸关键特征自动识别的框架

Fig. 2 Framework for automatic recognition of multi-pose face key features

由于将要识别的多姿态人脸关键特征图像与原本的人脸关键特征图像的灰度相关,随着人脸姿态的变化,灰度增大,相关性变小,因此在构建人脸姿态的标准图像时,根据将要识别的多姿态人脸关键特征图像和各姿态图像的相关性确定候

选人脸关键特征图像<sup>[7-8]</sup>。将人脸关键特征的姿态设为 $K_1, \dots, K_n$ 。

在对人脸关键特征进行识别时,先计算将要识别的图像的灰度并进行归一化处理,从而得到人脸关键特征的投影权重,再分别计算各姿态人脸特征的矢量距离。其中,最小距离的姿态即是人脸关键特征识别的候选姿态。

## 3 基于相关向量机的多姿态人脸关键特征自动识别算法

基于相关向量机的多姿态人脸关键特征识别算法,首先利用相机的焦距将人脸关键特征图像的三维坐标表示出来,计算出多姿态人脸关键特征的三维信息<sup>[9]</sup>;然后利用滤波器处理人脸的关键特征并进行提取;最后根据向量机的权值,对人脸关键特征的目标函数和特征中的噪声进行分析<sup>[10]</sup>,计算人脸自动识别的条件概率,实现非限定条件下无约束的多姿态人脸关键特征自动识别。

### 3.1 多姿态人脸关键特征的三维信息

为克服人脸关键特征识别容易受到外界因素影响的缺点,分析提取出的人脸关键特征点。设 $(u_1, v_1), (u_2, v_2)$ 分别为人脸三维图像左平面和右平面的像素坐标<sup>[11]</sup>,则人脸图像基线距离的表达式如下:

$$b = \frac{z(u_1 \cdot u_2)}{f} \quad (1)$$

其中, $z$ 表示人脸的特征点, $f$ 表示相机的焦距。人脸关键特征图像的空间三维坐标表达式为:

$$\begin{cases} X = \frac{Z}{f} u_1 = \frac{u_1 b}{d} \\ Y = \frac{Z}{f} v_1 = \frac{v_1 b}{d} \\ Z = \frac{bf}{d} \end{cases} \quad (2)$$

其中, $P(X, Y, Z)$ 代表空间点, $d$ 代表视差, $d = u_1 - u_2$ 。确定相机的焦距参数可以计算出基线距离。根据式(2)能够计算出三维坐标的信息,从而获得多姿态人脸关键特征的三维信息<sup>[12]</sup>。多姿态人脸关键特征点有眼角、鼻尖等部位,人脸关键特征的曲线距离是指“左鼻—鼻尖—右鼻”和“鼻根—鼻尖—鼻下”两个特征点的距离,计算公式如下:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (3)$$

其中, $(x_i, y_i, z_i)$ 和 $(x_j, y_j, z_j)$ 分别代表上述两个特征点的坐标。利用余弦定理来计算多姿态人脸的角度特征<sup>[13]</sup>,计算公式为:

$$\angle p_2 p_1 p_3 = \cos^{-1} \left[ \frac{(p_1 p_2^2 + p_1 p_3^2 - p_2 p_3^2)}{(2 \times p_1 p_2 \times p_1 p_3)} \right] \times 180/\pi \quad (4)$$

其中, $p_1, p_2, p_3$ 分别表示3个多姿态人脸关键特征的坐标。几何特征包括鼻根和内外眼角的角、鼻尖到眼睛的距离等<sup>[14]</sup>。人脸关键特征中鼻子的体积特征表达式如下:

$$v = \frac{1}{3} \times S \times h \quad (5)$$

其中, $S, h$ 分别代表鼻子的平面面积和鼻子的高度。设鼻尖、鼻根和鼻下的坐标分别为 $(x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), (x_3, y_3, z_3)$ ,根据坐标能够构建鼻尖和鼻下的直线方程:

$$Ay + Bz + C = 0 \quad (6)$$

其中,  $A = z_2 - z_3$ ,  $B = y_3 - y_2$ ,  $C = y_2(z_3 - z_2) - z_2(y_3 - y_2)$ 。根据式(6)可以计算鼻子的高度, 最终获取多姿态人脸关键特征的三维信息, 计算公式为:

$$h = \frac{|Ay_1 + Bz_1 + C|}{\sqrt{A^2 + B^2}} \quad (7)$$

### 3.2 多姿态人脸关键特征的提取

由于光照变化, 需要利用滤波器提取人脸图像的关键特征, 达到描述人脸信息的目的。设采样频率为  $K_{\max}$ , 滤波器的表达式为:

$$\varphi_{u', v'}(z') = \frac{\|K_{u', v'}\|^2}{\sigma^2} \exp\left\{-\frac{\|K_{u', v'}\|^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (8)$$

其中,  $u', v', \sigma$  分别代表滤波器的方向、尺度和中心,  $K_{u', v'}$  代表取模操作。利用滤波器处理多姿态人脸关键特征<sup>[15-16]</sup>, 处理后的表达式如下:

$$G_{u', v'}(z') = I(z')\varphi_{u', v'}(z') \quad (9)$$

其中,  $I(z')$  表示人脸的特征参数, 将其分解成 3 个尺度和 5 个方向, 则提取到的人脸的关键特征向量为:

$$(G_{u', v'}(z'); u' \in \{0, 1, 2, 3, 4\}, v' \in \{0, 1, 2\}) \quad (10)$$

### 3.3 多姿态人脸关键特征的自动识别

设人脸关键特征的样本集为  $\{x_n', y_n'\}_{n=1}^N$ , 其中  $N$  代表人脸的样本数, 则向量机的输出表达式如下:

$$y'(x', w) = \sum_{\lambda=1}^N w_{\lambda}(x_n', y_n') \quad (11)$$

其中,  $w_{\lambda}$  表示向量机的权重。

当人脸关键特征的目标函数独立时, 有如下表达式:

$$y_n' = f'(x_n', w) + \epsilon \quad (12)$$

其中,  $f'$  和  $\epsilon$  分别代表高质量人脸和多姿态人脸关键特征中的噪声。多姿态人脸关键特征识别的样本函数为:

$$p'(y' | w, \delta^2) = (2\pi\delta^2)^{-N/2} \exp\left(-\frac{1}{2\delta^2}\Phi\right) \quad (13)$$

其中,  $\delta$  表示样本函数中的常数,  $\Phi$  表示人脸关键特征函数中的线性组合。为提高识别效率, 选取最优的  $w$ , 其条件概率为:

$$p'(w | \delta) = \prod_{\lambda=1}^N Nw_{\lambda} \quad (14)$$

人脸关键特征未知参数概率的计算公式如下:

$$p'(w | y', \delta) = \frac{p'(w | \delta)}{w_{\lambda}} \quad (15)$$

由式(15)可知, 非限定条件下无约束多姿态人脸关键特征自动识别的迭代过程的表达式为:

$$\begin{cases} a^{\text{new}} = \frac{\gamma}{t^2} \\ (\delta^2)^{\text{new}} = \frac{\|y' - \Phi\|}{N - \sum \gamma} \end{cases} \quad (16)$$

其中,  $a$  代表迭代次数,  $t$  代表概率的平均值,  $\gamma$  代表向量机的对角元素。

结合上述分析, 实现非限定条件下无约束的多姿态人脸关键特征的自动识别:

$$Q = y'(x', w) + \gamma + \frac{1}{2\delta^2}\Phi \cdot \vartheta \quad (17)$$

其中,  $\vartheta$  代表人脸识别调节阈值, 将该值控制在  $[0.4, 0.5]$  可有效提高自动识别的效率。

## 4 实验证明

通过实验验证基于向量机的多姿态人脸关键特征自动识别算法的有效性。数据库选用 FERET 人脸识别数据库<sup>[17-19]</sup>, 该数据库是人脸识别方法最为广泛使用的基准之一。它包含超过 14000 个具有不同视点的灰度面部图像, 这些图像被分成若干子集以用于不同的研究目的。本文使用姿势子集来评估所提算法在交叉姿势人脸识别中的性能。FERET 数据库的姿势子集包含 200 个对象, 每个对象有 9 个姿势, 这些姿势是 ba(正面图像), bb(+60°), bc(+40°), bd(+25°), be(+15°), bf(-15°), bg(-25°), bh(-40°) 和 bi(-60°), 部分姿态图如图 3 所示。实验的操作系统为 Windows 7。实验平台采用 4 核 Quad9550, 2 GHz 的计算机。运行软件采用 MATLAB。



图 3 FERET 数据库的人脸姿态图

Fig. 3 Face pose images in FERET database

为了验证本文算法的有效性, 对多姿态人脸关键特征的识别率进行测试。选择 10 幅人脸图像, 测试结果如表 1 所列, 其中 O 代表本文算法, T 代表文献[2]算法, E 代表文献[3]算法, F 代表文献[4]算法。

表 1 多姿态人脸关键特征的识别率对比

Table 1 Comparison of recognition rate of key features of multi-pose face

人脸姿态	(单位: %)			
	O	T	E	F
+60°	95	85	92	90
+40°	97	87	94	92
+25°	99	88	97	92
+15°	99	88	97	95
0°	100	91	99	96
-15°	99	90	97	94
-25°	99	90	95	92
-40°	97	88	95	91
-60°	96	85	93	88
平均	97.9	88.0	95.4	90.2

由表 1 可知, 使用本文算法在对 -60° 和 +60° 姿态的人脸图像进行识别时, 识别率为 95% 和 96%, 对 -40° 和 +40° 姿态的人脸图像的识别率为 97%, 对 ±25° 和 ±15° 姿态的人脸图像的识别率为 99%, 对正面图像即 0° 姿态的人脸图像的识别率为 100%。对于 9 种姿态的人脸图像在使用文献[2]的算法进行识别后, 所得的识别率在 85%~91% 之间; 而文献[3]的算法得到的识别率在 92%~99% 之间; 文献[4]的方法得到的识别率在 88%~96% 之间。4 种算法的平均识别率分别为 97.9%, 88.0%, 95.4% 和 90.2%。经过对比能够得出, 本文算法对多姿态人脸图像的识别率最高, 达到了 97.9%, 文献[2]的算法对多姿态人脸图像的识别率最低。识别率越高, 说明算法对人脸关键特征的识别越准确, 识别率低则表明

不能完成对人脸关键特征的自动识别。因此该实验结果验证了本文算法对非限定条件下无约束多姿态人脸关键特征进行自动识别的有效性。

**结束语** 多姿态人脸关键特征的自动识别算法是分析人脸特征的基础,鉴于当前方法的识别率和效率较低的问题,本文提出一种基于向量机的多姿态人脸关键特征自动识别算法,解决了当前算法中存在的问题,验证了人脸关键特征自动识别的有效性,为下一步的多姿态人脸关键特征的自动识别奠定基础,并且应用前景良好。

### 参 考 文 献

- [1] LONG H Q, TAN T Z. Based on the Depth of Theconvolution Network and Local Binary Pattern of Face Recognition[J]. Computer Simulation, 2017, 34(1): 322-325. (in Chinese)  
龙海强, 谭台哲. 基于深度卷积网络算法的人脸识别方法研究[J]. 计算机仿真, 2017, 34(1): 322-325.
- [2] LI Q Y, JIANG J G, QI M B. Face Recognition Algorithm Based on Improved Deep Networks[J]. Acta Electronica Sinica, 2017, 45(3): 619-625. (in Chinese)  
李倩玉, 蒋建国, 齐美彬. 基于改进深层网络的人脸识别算法[J]. 电子学报, 2017, 45(3): 619-625.
- [3] ZHANG J M, LIU Y C, WU H L, et al. A face recognition algorithm based on Gabor feature and projective dictionary pair learning[J]. Computer Engineering and Science, 2016, 38(3): 542-548. (in Chinese)  
张建明, 刘阳春, 吴宏林, 等. 基于 Gabor 特征与投影字典对学习的人脸识别算法[J]. 计算机工程与科学, 2016, 38(3): 542-548.
- [4] SHOU Z Y, YANG X F, LI M Y. Face recognition based on local feature and kernel low-rank representation[J]. Application of Electronic Technique, 2016, 42(9): 126-128. (in Chinese)  
首照宇, 杨晓帆, 李萌芽. 基于局部特征与核低秩表示的人脸识别算法[J]. 电子技术应用, 2016, 42(9): 126-128.
- [5] WANG R. Based on the research of Adaboost face recognition algorithm[J]. Electronic Design Engineering, 2017, 25(16): 190-193. (in Chinese)  
王冉. 基于 Android 平台人脸识别算法的应用[J]. 电子设计工程, 2017, 25(16): 190-193.
- [6] LI M, CAO L. The Face Sketch Synthesis Based on Sub-blocks LBP and Optimization[J]. Bulletin of Science and Technology, 2017, 33(8): 170-174. (in Chinese)  
李猛, 曹林. 基于子块 LBP 和最优相关的素描人脸合成[J]. 科技通报, 2017, 33(8): 170-174.
- [7] XIE W D. Research on Intelligent Recognition and Improvement of Facial Expression in Cloud Computing Environment[J]. Computer Measurement & Control, 2017, 25(5): 162-164. (in Chinese)  
谢文达. 云计算环境下人脸表情智能识别改进技术研究[J]. 计算机测量与控制, 2017, 25(5): 162-164.
- [8] FENG Y P, AN X M. Subspace Face Recognition Algorithm Fused with Speed-up Robust Features[J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(6): 220-225. (in Chinese)  
冯宇平, 安雪美. 融合加速稳健特征的子空间人脸识别方法[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(6): 220-225.
- [9] WANG X H, ZHAO Z X. PCA face recognition algorithm combined with gamma transform and wavelet transform[J]. Computer Engineering and Applications, 2016, 52(5): 190-193. (in Chinese)  
王晓华, 赵志雄. 结合伽马变换和小波变换的 PCA 人脸识别算法[J]. 计算机工程与应用, 2016, 52(5): 190-193.
- [10] ZHAO Z G, JU Z, GU H. Research on Low Resolution Face Recognition with Pose Variations[J]. Control Engineering of China, 2016, 23(7): 1057-1062. (in Chinese)  
赵志国, 鞠哲, 顾宏. 低分辨率多姿态人脸识别算法研究[J]. 控制工程, 2016, 23(7): 1057-1062.
- [11] ABDALMAGEED W, WU Y, NEVATIA R, et al. Face recognition using deep multi-pose representations[C] // 2016 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision. IEEE, 2016: 1-9.
- [12] SEO J J, KIM H I, YONG M R. Pose-Robust and Discriminative Feature Representation by Multi-task Deep Learning for Multi-view Face Recognition[C] // IEEE International Symposium on Multimedia. IEEE, 2016: 166-171.
- [13] YANG J. Multi-pose Face Recognition Algorithm Based on Sparse Representation[C] // International Conference on Intelligent Transportation, Big Data & Smart City. IEEE Computer Society, 2016: 113-116.
- [14] YANG Z B, HOU L Y, YANG D L. Improved face recognition algorithm of attitude correction[J]. Microcomputer & its Applications, 2016, 35(3): 56-60. (in Chinese)  
杨作宝, 侯凌燕, 杨大利. 改进的多姿态矫正的人脸识别算法[J]. 微型机与应用, 2016, 35(3): 56-60.
- [15] WU K, ZHU H L, HAO Y Y, et al. Cascade regression based multi-pose face alignment[J]. Journal of Image and Graphics, 2017, 22(2): 257-264. (in Chinese)  
伍凯, 朱恒亮, 郝阳阳, 等. 级联回归的多姿态人脸配准[J]. 中国图象图形学报, 2017, 22(2): 257-264.
- [16] LIAO H, LU S, WANG D. Tied factor analysis for unconstrained face pose classification[J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2016, 127(23): 11553-11566.
- [17] JONATHON PHILLIPS P, MOON H, RIZVI S A, et al. The Feret evaluation methodology for face recognition algorithms[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(10): 1090-1104.
- [18] MA H, SUN W C, SHI J H, et al. A Low-Resolution of Face Recognition Method Based on Curvelet Transform [J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2018, 32(11): 168-174. (in Chinese)  
马慧, 孙万春, 史君华, 等. 基于 Curvelet 变换的低分辨率人脸识别方法[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2018, 32(11): 168-174.
- [19] ZHU Z G, HE M X. Gender discriminant model of face based on local feature and depth neural network[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2018, 46(6): 127-132, 151. (in Chinese)  
朱正国, 何明星. 基于局部特征和深度神经网络的人脸性别识别模型研究[J]. 机床与液压, 2018, 46(6): 127-132, 151.