

# 基于边缘统计和特征定位的人脸姿态估计方法<sup>①</sup>

王燕群, 童卫青, 张昌明

(华东师范大学 计算机科学与技术系, 上海 200241)

**摘要:** 提出基于整体信息和基于局部信息的人脸姿态估计方法, 并对两种方法进行比较分析。基于边缘统计特征的人脸姿态估计算法先利用人脸整体信息, 提取边缘统计特征, 再使用线性回归算法建立特征与姿态间的对应关系。基于特征定位的人脸姿态估计是一种基于局部信息的算法, 该算法先使用数理形态学运算精确定位鼻孔, 再根据鼻孔与眼睛的位置关系进行人脸姿态估计。实验结果表明, 本文的算法具有准确度高, 计算速度快的优点。

**关键词:** 人脸姿态估计; 边缘统计特征; 鼻孔定位; 数理形态学

## Face Pose Estimation Based on Edge Statistics and Feature Location

WANG Yan-Qun, TONG Wei-Qing, ZHANG Chang-Ming

(Department of Computer Science and Technology, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

**Abstract:** This paper proposes an edge statistical-based face pose estimation method, which uses the overall information to extract the features firstly. And then the linear regression algorithm is applied to build the corresponding relationship between features and poses. Feature location-based face pose estimation is another method proposed in this paper. It is a local information-based method, which utilizes mathematical morphology operators to pinpoint the nostril. Then according to the location of the nose and eyes, face poses are estimated. The aforementioned methods are compared in the same dataset. Experimental results show that the method can accurately and fast estimate face pose.

**Keywords:** face pose estimation; edge statistics feature; nose location; mathematical morphology

## 1 引言

自动人脸识别技术在门禁系统、公共安全等领域具有广泛的应用前景。人脸识别系统的性能容易受到光照、姿态、表情等因素的影响。Li 等提出了使用近红外光图像进行人脸识别的方法<sup>[1]</sup>, 这在很大程度上解决了光照变化对识别性能的影响。但是当姿态发生变化时, 进行鲁棒的人脸识别仍然很困难。为了克服姿态变化对人脸识别性能的影响, Georghiades 等提出了多姿态人脸识别方法<sup>[2]</sup>, 该方法需要预先估计人脸图像的姿态, 再进行人脸识别。

人脸姿态估计是指在输入的图像中确定人脸在三维空间中姿态的过程<sup>[3]</sup>。三维空间中人脸姿态的变化通常分成 3 种类型: 左右旋转、上下旋转和图像平面内旋转。由于平面内旋转可以通过眼睛的相对位置关

系计算得到, 因此, 姿态估计主要考虑左右旋转与上下旋转。本文的研究是基于门禁系统的人脸识别技术, 主要考虑人脸的左右旋转。目前, 人脸姿态估计方法大体上可以分为两类<sup>[4]</sup>: 基于表观的方法和基于模型的方法。

基于表观的方法假定在三维空间中的人脸姿态与二维人脸图像的某些性质存在一定的联系, 用大量样本通过统计方法找到这种关系。常用的方法如支持向量机(SVM)<sup>[5]</sup>, 弹性图匹配<sup>[6]</sup>, 独立主成分分析(ICA)<sup>[7]</sup>, 流形学习<sup>[8]</sup>等。本文中, 我们提出基于边缘统计特征的方法进行人脸旋转角度的分析。

基于模型的方法首先利用某种几何模型表示人脸的结构和形状, 然后通过特征点匹配来估计人脸的姿态, 此类方法通常依赖于特征点的精确定位。

① 收稿时间:2010-07-17;收到修改稿时间:2010-08-17

Ji 等提出通过眼睛和嘴之间建立的三角形来估计人脸姿态<sup>[4]</sup>，刘森等人提出用椭圆来近似人脸<sup>[9]</sup>，通过椭圆的纵横比估计人脸姿态。本文使用眼睛与鼻孔间的几何关系进行人脸姿态估计，相对于 Ji 的方法，鼻孔位置对表情变化较不敏感，更为稳定。算法先使用数理形态学运算定位鼻孔，再计算鼻孔与眼睛的距离，然后根据训练得到的映射关系估计人脸姿态。

## 2 基于边缘统计特征的人脸姿态估计

当人脸左右旋转时，人脸图像的中心线与对称线间的距离和旋转角度有着很大的关系<sup>[10]</sup>，如图 1 所示，黑线为中心线，由于归一化人脸图像时，固定了眼睛坐标，因此中心线即为双眼之间的中心线。白线是对称线，即脸部器官的对称线。从图 1 可以容易的看出随着左右旋转角度的不断变大，这两条线间的距离也相应的不断变大。因此，这一距离可以用来估计人脸的左右旋转角度。



图 1 中心线和对称线与姿态变化的关系

### 2.1 边缘统计特征提取

边缘统计特征的提取流程如图 2 所示：

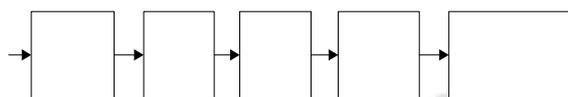
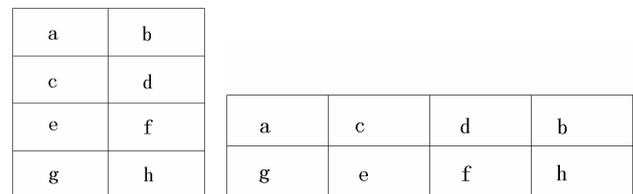


图 2 边缘统计特征提取流程图

在人脸图像的眼睛坐标已提供的前提下，我们对一幅二维人脸图像进行归一化处理。该预处理能将所有图像都缩放到同一尺寸，并矫正平面内的旋转。这样可以消除尺度与平面内旋转角度对左右旋转估计的影响。

当人脸左右旋转时，鼻子、嘴巴在水平方向有着明显的分布性，因此，可利用 sobel 算子对归一化后的图像进行边缘检测，将其重要特征呈现出来。从图 1 中，我们观察到中心线与对称线的距离较小，本文对边缘检测后的图像对称展开，以增大两线间的水平距

离。对称展开方法如下：1)将图像按中心线分为左右两边，再对两边各自分块。如图 3(a)所示，图像被分割为大小相等的八块。2)对称移动 a、b、g、h 块到指定位置，如图 3(b)所示。



(a) 原始图像 (b) 展开后图像

图 3 对称展开示意图

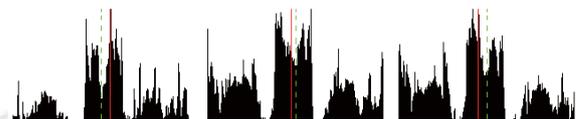
由图 3 可知，对边缘图像进行对称展开后，图像的宽度是原来的 2 倍，那么展开后图像的两中线间距离应该也会相应的增大。这为后续的精确实人脸姿态估计提供了基础。图 4(b)是对称展开后的边缘图像。



(a) 归一化人脸图像



(b) 对称展开后的边缘图像



(c) 垂直直方图累计图像

图 4 对称展开后的图像及对应垂直直方图累计图像

从图 4(b)中可以看出，人脸左右旋转后，人脸图像在水平方向上会有明显的变化。故对展开后的边缘图像作垂直方向的累计投影<sup>[11]</sup>。从图 4(c)中，我们可以观察到，随着人脸左右旋转的方向及角度不同，直方图也会有相应的变化。边缘特征集中的位置与人脸左右旋转的方向及角度有着对应关系。因此，可以利用直方图平均值来计算人脸对称线，并进一步计算得到它与中心线间的距离，以提取出边缘统计特征。直方图平均值的计算公式如下：

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^w i \times bin(i)}{\sum_{i=1}^w bin(i)}, \quad i \text{ 为直方图水平}$$

轴坐标， $w$ 为直方图宽度， $bin(i)$ 为第*i*个bin的高度。图4(c)中的实线是根据直方图平均值计算得到的人脸对称线，虚线是中心线，可以观察到对称线(图4c的实线)的偏移方向与人脸左右旋转的方向一致，而且它与旋转角度相关。

### 2.2 数据分析与函数拟合

提取出边缘统计特征后，容易观察到对称线与中心线之间的距离和旋转角度存在单调关系。然后，我们在训练库上使用多项式拟合方法，求得它们之间的函数关系。

本文所用的训练库由32人组成，每人的左右旋转角度范围 $\theta \in [-45, 45]$ 度，按照5度的采样间隔进行采集，共608幅人脸图像。计算每幅人脸图像的中心线与对称线间的距离，并对32人的数据进行平均，可得到距离与左右旋转角度间的关系，如图5所示。

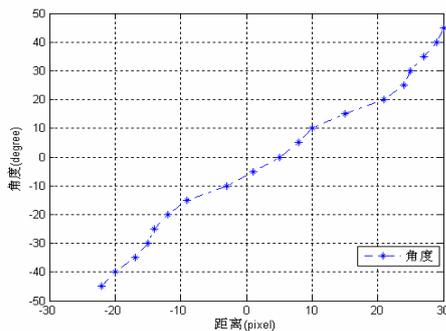


图5 距离与左右旋转角度的关系

从图5可以看出，旋转角度与距离之间近似的成线性关系。本文采用多项式拟合方法计算旋转角度与距离的关系函数。根据图5的数据分布，先分别采用如下两条不同的曲线方程进行拟合，再用最小二乘法求解拟合曲线的参数。 $y(x)=ax+b$ ， $y(x)=ax^3+bx^2+cx+d$ 。

拟合后的曲线如图6所示，可以观察到曲线2比曲线1更接近数据的真实分布，且实验表明曲线1的平均拟合误差为2.68度，而曲线2的平均拟合误差为1.59度。因此，我们选择曲线2作为旋转角度与距离间的映射函数。曲线2的函数如下： $y(x)=0.0009x^3-0.0116x^2+1.3336x-4.8988$

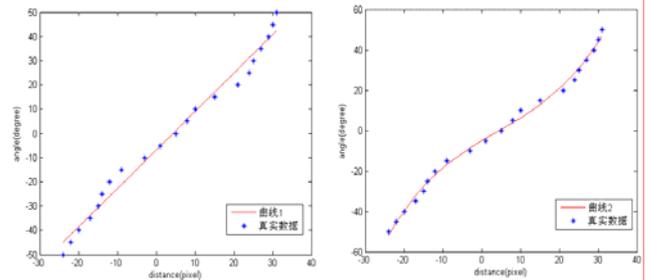


图6 曲线拟合

## 3 基于特征定位的人脸姿态估计

### 3.1 模型构建

人脸近似于椭圆形，当人脸左右旋转时，眼睛与鼻孔间的水平距离也会随着左右旋转角度的变化而变化，因此建立如图7的模型。

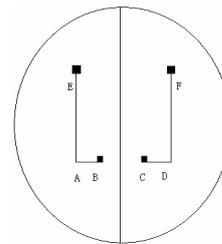


图7 模型示意图

在图7中，E、F分别是左眼与右眼，B、C分别是左右鼻孔。过点E作垂线交B点的水平延长线与A，过点F作垂线交C点的水平延长线与D。所以，AB为左眼与左鼻孔间的水平距离，CD为右眼与右鼻孔间的水平距离。当人脸左右旋转超过一定角度时，B(C)点可能与A(D)点重合，本文暂不考虑这种情况。

当人脸向左转动时，AB逐渐减小，CD逐渐增大；当人脸向右转动时，AB逐渐增大，CD逐渐减小。因此，如果用大量样本建立位置参数AB、CD与人脸左右旋转角度间的对应关系，即可根据人脸图像中的位置参数估计出人脸左右旋转角度。对于一幅输入的人脸图像，双眼坐标是已知的，鼻孔坐标可以通过数理形态学运算得到，根据训练得出的函数关系即可计算人脸左右旋转角度。

### 3.2 基于数理形态学的鼻孔定位

王等使用基于数理形态学的Quoit滤波器进行近红外光瞳孔定位<sup>[12]</sup>。Quoit滤波器对孤立点具有很高的

响应，而且近红外人脸图像中瞳孔呈现孤立的白色光斑，因此它可以定位瞳孔位置。在人脸图像中，鼻孔区域通常比周围像素的灰度值低，从而形成黑色孤立点。根据这一特点，我们使用基于数理形态学的 Quoit 滤波器进行人鼻定位。Quoit 滤波器运算定义如下： $q = f \oplus D - f \oplus R$  其中， $f$  为输入图像， $D$  为圆盘结构元素， $R$  为圆环结构元素， $\oplus$  是膨胀运算。

具体过程如下：首先对归一化后的人脸图像取补，再在鼻孔区域附近使用 Quoit 滤波器进行滤波处理。然后对滤波后的图像进行二值化处理，将白色区域质心作为左右鼻孔的候选点，通过一定的筛选条件，最终得到鼻孔位置，实验结果如图 8 所示。

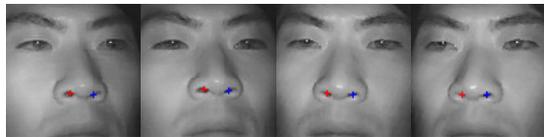
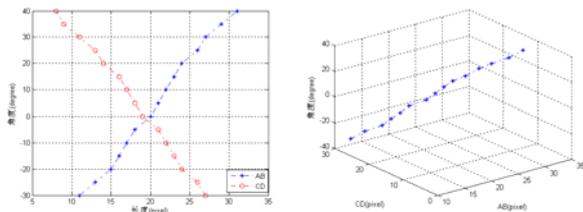


图 8 Quoit 滤波器鼻孔定位结果

### 3.3 函数拟合

根据上述方法可以定位到鼻孔位置，并且眼睛位置是已知的，根据图 7 模型计算训练样本在各旋转角度下的 AB、CD 平均长度，可得到图 9 的数据关系。从图 9(a)中可以观察到，AB、CD 各自与旋转角度都成近似线性关系，且旋转角度与 AB、CD 两参数间具有单调性关系，如图 9(b)所示。



(a) 旋转角度与单变量关系 (b) 旋转角度与二元变量关系

图 9 角度与 AB、CD 的关系

本文用线性回归算法建立位置参数与旋转角度间的对应关系，首先建立线性回归模型，再用训练样本求出参数估计值，使实际观察值和回归方程估计值之间差值平方和最小。训练得到的函数如下：

$$angle = 60.0720 + 0.2882 \times AB - 3.5413 \times CD$$

## 4 实验结果

本文算法使用 C++ 实现，开发平台为 Visual Studio 2005。

### 4.1 实验数据

实验在自建的三维人脸数据库上进行。该数据库共有 42 人，每人的左右旋转角度范围  $\theta \in [-45, 45]$  度，按照 5 度的采样间隔将其投影到二维平面内，构成人脸姿态库。人脸姿态库分为训练库与测试库，其中训练库包含 32 个人，共 608 幅人脸图像。测试库包含 10 人，共 190 幅人脸图像，部分图像见图 10。

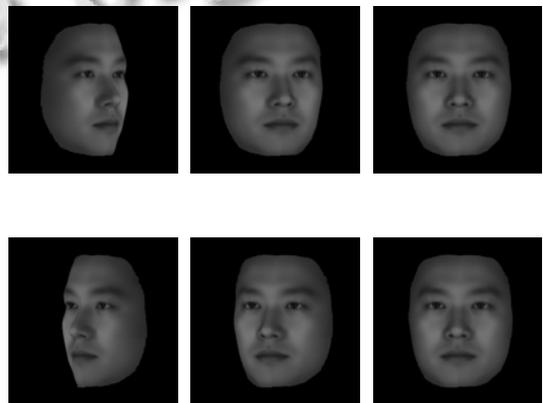


图 10 数据库部分图像

### 4.2 实验方法及结果

实验 1：基于边缘统计特征的人脸姿态估计

为了检验基于边缘统计特征的人脸姿态估计算法的有效性，实验将测试库的全部 190 幅各个姿态人脸图像作为输入，计算出每幅图像的中心线与对称线间的距离，并通过训练出的函数计算得到相应旋转角度。在测试库上的姿态估计平均误差为 5.74 度，实验结果如图 11 所示。其中，横坐标为测试样本的旋转角度，纵坐标 Err 表示姿态估计的误差(以度为单位)。

实验 2：基于特征定位的人脸姿态估计

将测试库的所有人脸图像作为输入，先使用 Quoit 滤波器对鼻孔附近区域进行滤波处理，得到左右鼻孔位置。再根据图 7 模型和相应拟合函数求得左右旋转角度，姿态估计的平均误差为 2.96 度，实验结果如图 11 所示。

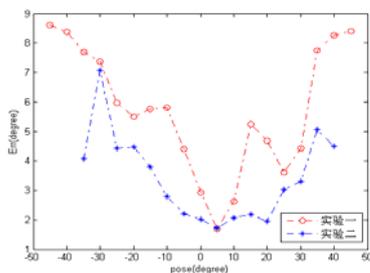


图 11 实验结果

### 4.3 实验分析

上述实验结果表明, 本文的算法具有较高的准确率。从图 11 可以观察到两种算法的误差率曲线都在 0 度附近呈对称趋势, 越接近 0 度姿态估计的误差越小。

从图 11 中容易发现, 基于特征定位算法(实验二)的姿态估计精度高于基于边缘统计特征算法(实验一)的精度, 前者的平均误差为 2.96 度, 而后者的平均误差为 5.74 度。特别是当旋转角度逐渐增大后, 后者的平均误差明显高于前者。这主要是由于旋转角度较大时, 人脸光照不均匀影响边缘统计特征引起的, 我们将在后续研究中考虑此问题。

基于特征定位的姿态估计算法是以特征准确定位为前提的, 在图 11 中, 该算法的姿态估计误差率曲线呈现 U 型。当旋转角度较小时, 该算法具有较高的精度。但当人脸旋转角度超过 35 度时, 其中一个鼻孔会被遮挡。此时, 被遮挡鼻孔无法定位, 该算法会失效, 这是需要后续改进的地方。而基于边缘统计特征的人脸姿态估计算法是利用人脸图像的全局信息, 对特征点定位精度的依赖程度相对小一些。当左右旋转角度较大时, 该算法仍然是适用的。

由于以上两种方法流程简单、计算量低, 所以进行人脸姿态估计时速度较快。

## 5 总结

本文从整体与局部两方面出发, 提出了两种新的人脸姿态估计方法。一种是基于边缘统计特征的人脸姿态估计算法, 该算法先对输入图像进行边缘检测与直方图分析, 然后提取边缘统计特征, 进行人脸姿态估计。另一种是基于特征点的人脸姿态估计算法, 该算法先使用 Quoit 滤波器进行人鼻定位处理, 再根据图 7 模型进行人脸姿态估计。实验结果表明, 两种方法均取得了较好的效果。

在后续的研究中, 我们将主要考虑: 如何将提出的两种方法有效的结合起来, 使整个算法的鲁棒性更

好; 当人脸旋转角度过大导致一个鼻孔不可见时, 如何建立单鼻孔模型进行准确的人脸姿态估计。

### 参考文献

- 1 Li SZ, Chu R, Liao S, Zhang L. Illumination invariant face recognition using near-infrared images. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2007,29(4):627-639.
- 2 Georgiades AS, Belhumeur PN, Kriegman DJ. From few to many: illumination cone models for face recognition under variable lighting and pose. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2001,23(6):643-660.
- 3 梁国远, 查红彬, 刘宏. 基于三维模型和仿射对应原理的人脸姿态估计方法. *计算机学报*, 2005,28(5):792-800.
- 4 Ji Q, Hu R. 3D face pose estimation and tracking from a monocular camera. *Image and Vision Computing*, 2002,20(7):499-511.
- 5 Jeffrey Ng, Gong SG. Composite support vector machines for detection of faces across views and pose estimation. *Image and Vision Computing*, 2002,20(5/6):359-368.
- 6 Krüger N, Pötsch M, Malsburg CVD. Determination of face position and pose with a learned representation based on labeled graphs. *Image and Vision Computing*, 1997,15(8):665-673.
- 7 Li SZ, Lu XG, Hou XW, Peng XH, Cheng QS. Learning multiview face subspaces and facial pose estimation using independent component analysis. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2005,14(6):705-712.
- 8 Raytchev B, Yoda I, Sakaue K. Head pose estimation by nonlinear manifold learning. In: Goldfarb L, ed. *Proc. of the Int'l Conf. on Pattern Recognition*, Washington: IEEE Computer Society, 2004,4:462-466.
- 9 刘淼, 郭东伟, 马捷, 孙浩翔, 周春光. 基于椭圆模型和神经网络的人脸姿态估计方法. *吉林大学学报(理学版)*, 2008,46(4):687-690.
- 10 Lam K, Hong Y. An analytic-to-holistic approach for face recognition based on a single frontal view. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998,20(7):673-686.
- 11 Yegnanarayana B, Anil Kumar sao, Vijaya Kumar BVK, Savvides M. Determination of pose angle of face using dynamic space warping. *Proc. of the International Conference on Information Technology: Coding and Computing (ITCC'04)*, 2004,1(5/7):661-664.
- 12 王基帆, 童卫青. 基于数理形态学的近红外光图像实时人脸检测. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2010,3:39-47.