

基于对称变换与高斯微分的人脸定位新方法

宋海娜, 匡纲要, 郁文贤

(国防科学技术大学电子科学与工程学院, 湖南长沙 410073)

摘 要: 在实际人脸识别系统中, 复杂背景、无控制光照及成像质量对人脸的准确定位造成了严重影响. 本文针对上述情况提出了一种室内自然环境下人脸准确定位的新方法. 该方法充分利用了人脸具有的强对称性与三维特性, 运用高斯微分求图像边缘, 再对广义对称变换及径向对称变换加以规则限制, 实现了人脸眉心的准确定位及对尺度因子的估计, 进而实现了人眼的准确定位, 具有很强的稳健性.

关键词: 人脸定位; 对称变换; 高斯微分

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 09-1433-04

A New Face Localization Method Based on Symmetry Transform and Gaussian Derivatives

SONG Hai-na, KUANG Gang-yao, YU Wen-xian

(School of Electronic Science and Engineering, NUDT, Changsha, Hunan 410073, China)

Abstract: In real face recognition systems, face localization is always heavily affected by complex background, uncontrolled lighting condition and low imaging quality. To solve these problems, a novel face localization method in natural indoor environment is presented. The main idea is to use the strong symmetry and the three-dimensional property of human face. Firstly, edge map of original image is obtained by using the Gaussian derivative operator. Secondly, we introduce some novel rules to the generalized symmetry transform and radial symmetry transform to localize the glabella, and then to estimate the scale factor. Finally, accurate eyes localization is realized with similar idea. The results of some experiments are also given which show the robustness and effectiveness of this method.

Key words: face localization; symmetry transform; Gaussian derivatives

1 引言

在完整的人脸识别系统中, 对原始输入图像进行人脸检测、定位是一个不可缺少的关键环节. 由于后端的识别系统通常要求输入是一个尺度与几何位置规范的面部图像, 否则将会严重影响整个系统的识别性能, 因此对图像进行人脸准确定位具有重要意义. 在人脸检测与定位的研究中, 通常会利用人脸灰度分布、边缘及人脸知识规则的方法^[1], 在实际应用场合, 得到的图像可能存在各种复杂背景, 且人脸在图像中的位置与光照条件都具有很大的随意性, 这使得人脸的准确定位成为人脸识别技术研究中的一个重要而困难的问题.

在计算机视觉领域, 物体的对称性对于检测与识别而言, 是一个重要的基本的性质, 尤其对于人脸这样具有强对称性的三维物体, 利用其对称性将有助于问题的解决. 文献[2]针对全局对称性(镜像对称)的缺点, 提出了一种检测物体点对称性的局部算子))) 广义对称变换, 对于背景、光照、位置、姿态有一定的鲁棒性.

利用对称变换进行人脸定位的一般做法是, 直接用广义

对称变换求图像边缘的对称性测度得到人眼的候选点, 再进行匹配. 由于广义对称变换是一个局部算子, 尺度因子的选择对算法有重要影响. 文献[3]提出了对尺度因子(相当于人脸宽度)的估计方法. 该方法利用人脸图像边缘投影的统计来估计两侧脸颊线, 因此只对简单背景的正面人脸图像有效, 局限性较大. 文献[4]根据边缘(梯度模、方向)提出了检测黑块与白块特征的方法, 但得到的候选点较多, 不易匹配成功.

本文针对上述人脸定位方法对背景、光照、成像质量有较强依赖性的缺点, 充分利用人脸强对称性及三维特性(灰度分布的渐变性), 首先采用高斯微分求得图像边缘; 然后在广义对称变换的基础上, 定义黑块与白块的对称性规则, 提出了基于眉心定位的人脸粗定位与分割方法, 估计尺度因子; 最后利用椭圆邻域的黑块径向对称算子, 实现了对双眼的准确定位. 其中, 眉心的定位不仅用于尺度因子的估计, 而且对于多个双眼候选点的匹配有重要的参照作用, 因此, 基于眉心定位的思路是本文算法的一个新颖之处. 实验结果表明, 本文所提方法适用于复杂背景、自然光强及有一定的姿态变化的情形, 有较强的实用价值.

2 对称变换与高斯微分

2.1 广义对称变换

设 $p_k = (x_k, y_k)$, $k = (1, 2, \dots, K)$ 是图像上任一点, p_k 处的梯度算子为: $\nabla p_k = \left(\frac{\partial}{\partial x} p_k, \frac{\partial}{\partial y} p_k \right)$, 则点 p_k 处的对数边缘强度和边缘方向分别如下:

$$r_k = \log(1 + |\nabla p_k|),$$

$$H_k = \begin{cases} \arctan(\frac{\partial}{\partial x} p_k / \frac{\partial}{\partial y} p_k), & \text{当 } \frac{\partial}{\partial x} p_k \neq 0, \frac{\partial}{\partial y} p_k \neq 0 \\ 0, & \text{当 } \frac{\partial}{\partial x} p_k = 0, \frac{\partial}{\partial y} p_k = 0 \\ \arctan(\frac{\partial}{\partial x} p_k / \frac{\partial}{\partial y} p_k) + \pi, & \text{当 } \frac{\partial}{\partial x} p_k < 0, \frac{\partial}{\partial y} p_k > 0 \\ \arctan(\frac{\partial}{\partial x} p_k / \frac{\partial}{\partial y} p_k) - \pi, & \text{当 } \frac{\partial}{\partial x} p_k < 0, \frac{\partial}{\partial y} p_k < 0 \end{cases} \quad (1)$$

对图像上任一点 p , 定义其广义对称变换算子如下:

$$M_R(p) = \sum_{(i,j) \in \#(p)} D_R(i,j) P(i,j) r_{ij} \quad (2)$$

其中点集 $\#(p) = \{(i,j) | (p_i + p_j)/2 = p\}$ 表示图像上所有以点 p 为连线中心的点对, A_j 是 p_i, p_j 之间连线与水平方向的逆时针夹角 ($A_j \in [0, \pi]$).

指数距离加权函数 $D_R(i,j) = (1/(\sqrt{2\pi}R)) \exp(-(p_i - p_j)/(2R))$, R 为尺度因子, 与待识别物体的尺寸有关, 通过调整尺度因子, 获得不同尺度上的对称性. 指数距离加权函数反映了算子的局部特性, 这与传统的全局对称算子不同. 在具体实现中, 由于背景、噪声及光照的影响, 很难保证用全局对称性进行检测的性能, 而且在利用全局对称性时, 还要求具有物体形状的先验知识^[5].

相位加权函数 $P(i,j) = (1 - \cos(H_i - H_j - 2A_j))(1 - \cos(H_i - H_j))$. 其中, 第一项表明当 p_i, p_j 两点的边缘方向相对且与二者连线方向一致时, p_i, p_j 两点的贡献最大, 第二项则表示, 当 $H_i - A_j = H_j - A_j = \pi/2$ 时, 点对 p_i, p_j 不在考虑范围内.

乘积 r_{ij} 表示只考虑 p_i, p_j 两点处均有较强边缘响应的点对, 因此可以忽略平滑区域的影响.

广义对称算子提供的是连续性的对称性测度, 而不是简单的二值测度(具有对称性、不具有对称性), 可以更有效地对物体进行检测. 因此, 广义对称变换是一个作用于边缘图像的反映局部点对称性的连续性算子, 对光照、背景有一定的鲁棒性.

2.1.2 径向对称变换

在广义对称变换的基础上, 定义径向对称变换算子:

$$RS_R(p) = \sum_{(i,j) \in \#(p)} D_R(i,j) P(i,j) r_{ij} \sin^2(U(i,j) - \angle(p)) \quad (3)$$

其中 $U(i,j) = (H_i + H_j)/2$, $\angle(p)$ 是使得 $D_R(i,j) P(i,j) r_{ij}$ 取最大值时的 $U(i,j)$.

径向对称变换着重强调了与主对称方向垂直的方向上点对的作用, 保证了在一个被边缘包围的点处响应最强.

2.1.3 高斯微分

二维图像 $I(x, y)$ 的高斯微分定义为:

$$\nabla I(x, y) = \left(\frac{\partial}{\partial x} I(x, y), \frac{\partial}{\partial y} I(x, y) \right) U([D_R(x) G_R(y)] * I(x, y), [G_R(x) D_R(y)] * I(x, y)) \quad (4)$$

这里, $G_R(t)$ 为一维高斯函数, 均值为 0, 标准差为 R ; $D_R(t)$ 为相应的一维高斯微分. 则高斯微分的对数幅值和方向分别同式(1)定义:

高斯微分用于对称变换有以下特点:

(1) 对图像的高斯微分相当于对图像进行高斯平滑再做微分, 因此对边缘有平滑的效果;

(2) 高斯函数是任意阶连续可微, 使得对称的基本条件得以满足[6], 可以对不边连续的图像进行处理(如二值图像);

(3) 在小尺度上会出现大量具有对称性的点, 但感兴趣的点通常出现在一个合适(稍大)的尺度上;

(4) 微分算子在小尺度上对噪声敏感, 可以选择尺度因子(标准差), 在合适的尺度上对图像进行处理, 提高对噪声的鲁棒性.

因此, 本文采用高斯微分求图像边缘, 在本文的实验中结果部分, 将给出用高斯微分算子与用 Sobel 算子得到的结果的比较, 可以明显地看出高斯微分的优越性.

3 基于高斯微分与广义对称变换的人脸定位方法

在利用对称性变换对原始的自然图像进行人脸检测与定位时, 通常的做法是直接应用广义对称性变换算子进行对称性检测, 从候选点中检测人脸上的眼球中心点. 如果没有对人脸尺寸的先验信息, 则需要在大范围的多个尺度上搜索, 计算量很大, 并且还出现较多的候选点, 同时受到复杂背景的影响. 因此首先要对尺度因子进行估计. 文献[3]提出的对尺度因子(相当于人脸尺寸)的自动估计方法, 是利用人脸图像边缘投影的统计来估计两侧脸颊线, 只能针对简单背景下的正面人脸图像, 有较大的局限性. 另外, 在最后对多个双眼候选点进行匹配时, 若能够利用眉心位置的先验信息, 则大大简化了问题. 针对上述问题, 本文提出一种对人脸中眉心的定位方法, 根据人脸比例关系对尺度因子进行粗略估计, 最后对分割图像进行人眼对称性检测与匹配定位.

3.1 眉心的定位

首先假定人脸在图像上所占的比例关系的范围是: 图像宽度 $W/5 \leq$ 脸宽 $FWF \leq$ 图像宽度 W . 在适合的尺度范围内, 人的眉心是一个被双眼(黑块)围着的亮块, 并且双眼是关于眉心的中轴线对称分布的, 这就使得眉心区域对于基于白块的广义对称变换及其径向对称变换有很强响应. 因此, 本文由经验值取基于白块的对称变换中的尺度因子为图像宽度 $W/15$, 根据上文所述高斯微分对于对称性检测的优点, 对原始图像的高斯微分进行白块特征的检测. 为了有效消除眉心候选点, 要综合考虑图像关于白块对称性的径向对称变换与广义对称变换. 这里, 给出一种白块的检测规则:

$$\begin{cases} (l_{p_i}, k) \in 0 \\ (l_{p_j}, k) \in 0 \end{cases} \quad (5)$$

其中, (\cdot, \cdot) 为内积运算, 如图 1 所示, l_{p_i} 为 p_i 处的边缘方向矢量, l_{p_j} 为 p_j 处的边缘方向矢量, lc 为 p_i, p_j 两点之间连线

的矢量 l 关于 X 轴对称的矢量, 式(5)表示, 当 l_{p_i} 与 l_c 之间的夹角范围是 $[0, P/2]$, l_{p_i} 与 l_c 之间的夹角范围是 $[P/2, P]$ 时, 具有白块特性。只有满足上述条件的点对, 才对 p 点处的对称性测度有贡献。

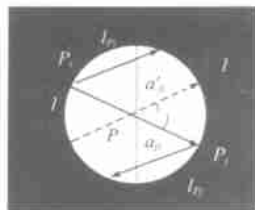


图1 白块示意图

眉心定位的具体步骤是:

(1) 对原始图像进行灰度预处理后, 用高斯微分求图像的边缘图, 包括边缘强度及边缘方向;

(2) 根据设定的尺度因子, 按式(2)、(3)分别对边缘图像的白块对称性测度 $M_{R|w}$ 和白块的径向对称性测度 $RS_{R|w}$;

(3) 分别对 $M_{R|w}$ 和 $RS_{R|w}$ 进行二值化, 其中 $RS_{R|w}$ 要取较高比例的阈值(95%), 将二值化图像进行与运算, 求各个目标区域的质心为候选点, 此时, 候选点数目已经非常少, 根据人脸在图像上所点的比例关系容易筛选出最终的目标, 即期望中的眉心。若仍有多于一个的目标点存在, 则依次进行下文提出的处理, 根据与后来得到的候选点进行眼部匹配结果, 来判断各点是否为真正的眉心。

3.1.2 人脸粗分割与尺度因子估计

以眉心为基准点, 人脸的几何比例关系大致可以确定为, 左半边脸宽 W_L = 右半边脸宽 W_R = 上部脸长的 $2H_U/3$ = 下部脸长 $H_D/2$ 。得到眉心位置 $G(x, y)$ 后, 令 $d_1 = 6x$, $d_2 = 6(W - x)$, $d_3 = 4y$, $d_4 = 3(H - y)$, 这里 W 和 H 为图像的宽与高。根据简单规则即可粗分割出人脸所在区域, 例如当 $d_1 = \min(d_i)$ 时, $W_L = x$, $W_R = x$, $H_U = 3x/2$, $H_D = 2x$ 。则下文基于黑块的对称变换中的尺度因子可设为 $(W_L + W_R)/8$ 。

3.1.3 分割图像的双眼定位

人脸上的双眼可以看作是黑块, 尽管眼球是圆形区域, 但由于在一般自然环境下得到的人眼部分成像较差, 用圆形邻域的对称性变换效果不佳。文献[7]提出的基于圆形邻域对图像进行离散对称变换的方法, 也只能在人眼图像成像较好, 边缘清晰的情况下适用。因此, 本文在利用高斯微分求图像边缘后, 用椭圆来描述人眼区域, 即采用椭圆邻域的黑块对称性测度来检测人眼。这里, 类似式(5)同样可以推导出黑块检测的条件:

$$\begin{cases} (l_{p_i}, l_c) F 0 \\ (l_{p_j}, l_c) E 0 \end{cases} \quad (6)$$

得到黑块对称性测度后, 对其进行自适应二值化, 按照人眼的分布规则及上文得到的眉心位置信息, 对各个候选点进行匹配, 最后检测出人眼并定位。由于在上一步已经得到眉心位置的信息, 因此, 以眉心作为参考点, 对人双眼候选点的匹配可以大为简化。

3.1.4 图像标准化分割

获得人眼中心的位置后, 将人眼间距变换到一个统一的尺度, 对图像进行缩放处理。再经过图像旋转, 保证双眼中心在同一水平线上。最后, 以人脸中轴为基准, 按规定的宽度和高度对图像进行分割得到最后的标准图像。

4 实验结果分析及结论

本文主要目的是针对原有人脸定位算法在实际应用中的缺点, 研究对光照、背景及成像质量等条件变化更具有适应性的算法, 主要用于室内自然环境下的人脸定位。而从互联网上下载的人脸图像数据库多为用于识别的标准图像数据库, 大都成像质量较好, 在实用系统中, 一般不能保证能够获得这样的输入图像。因此采用这些标准数据来测试定位算法, 并不能真正说明算法的可靠性与稳健性。

测试本文算法性能的测试图像包括下面两部分: (1) 从网上可下载的数据库中挑选出的室内任意自然条件下的 30 幅图像; (2) 40 幅自拍图像。测试图像中包括戴眼镜的人脸, 允许一定的头部偏转、摇摆及复杂背景的情况。

人脸定位的实验结果是, 眉心定位准确率为 97%, 双眼定位准确率为 94%。由于采用了优化算法, 定位速度较快。利用人脸对称性进行眉心的准确定位, 不仅可以对尺度因子进行估计, 而且对后续的人眼候选点对的匹配有很好的参照作用。而定位不成功的主要因素是背景中有类似人脸这样的对称性极强的三维椭圆物体, 在光照过强导致头发严重反光时也有可能失败, 此时采用别的算法进行准确定位也很困难。在后续的研究中, 将重点解决这一问题。

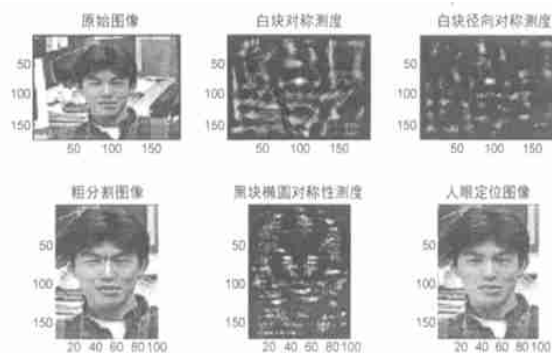


图2 网络下载图像1, 高斯微分, 定位成功

下面给出部分实验结果。图2为复杂背景、人眼成像不清晰的情形; 图3为头部有一定偏转且背景复杂的图像; 图4为背景中有假脸的图像, 由图看出, 本文提出的基于对称变换与

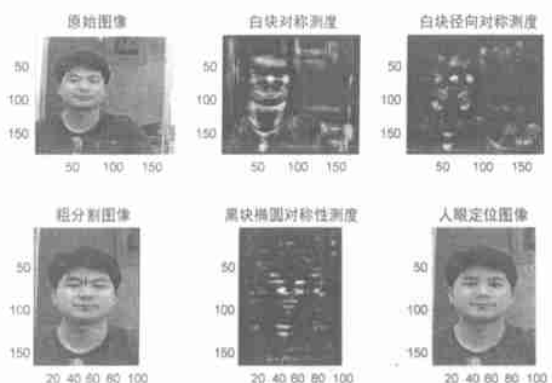


图3 自拍图像1, 高斯微分, 定位成功

高斯微分的算法的定位结果是相当稳健的. 图 5、图 6 分别为图 2、图 3 用 Sobel 微分算子代替高斯微分算子得到的结果, 可以看出, 在求对称性测度时, 若采用常规 Sobel 的算子, 将引入

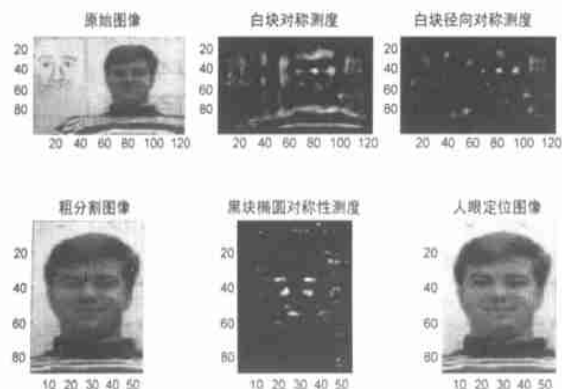


图4 网络下载图像2, 高斯微分, 定位成功

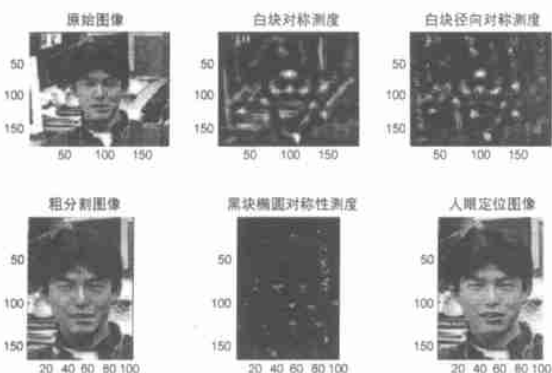


图6 自拍图像1, Sobel 微分, 定位失败

由于本文算法还考虑了人脸的三维物体的灰度分布渐变特性, 因此它的另一个优点是能够区分出真实的人脸图像与二维的人脸画像, 这在某些实用场合是很重要的.

较多的细节特征, 增加处理的复杂度, 甚至导致定位失败, 因此采用高斯微分是本文所提算法具有优越性能的一个重要因素.

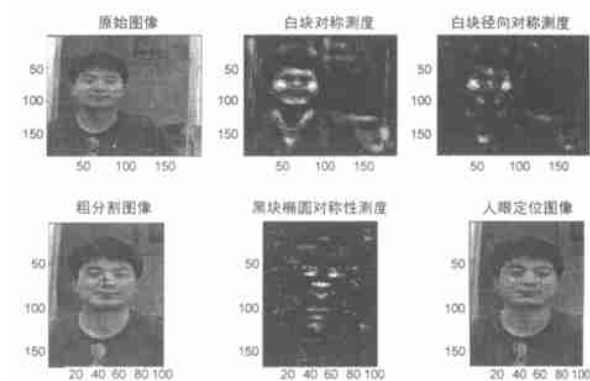


图5 网络下载图像1, Sobel 微分, 定位失败

参考文献:

- [1] Erik Hjelmas. Face detection: A survey [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2001, 83: 236- 274.
- [2] D Reisfeld, H Wolfson, Y Yeshurun. Context-free attentional operators: the generalized symmetry transform [J]. Int. Journals of Computer Vision, 1995, 14: 119- 130.
- [3] 周杰, 等. 基于方向对称变换的人脸定位方法 [J], 电子学报, 1999, 27(8): 12- 15.
- [4] Cheng-ChungLin, Wei-ChungLin, Extracting facial features by an inhibitory mechanism based on gradient distributions [J]. Pattern Recognition, 1996, 29(12): 2079- 2101.
- [5] Y Bonnef, D Reisfeld, Y Yeshurun. Quantification of local symmetry: Application for texture discrimination [J]. Spatial Vision, 1995, 8(4): 515- 530.
- [6] R Manmatha, Harpreet S Sawhney. Finding symmetry in intensity images [R]. UMass Technical Report, 1997.
- [7] Vito Di Ges, Cesare Valenti. The discrete symmetry transform in computer vision [R]. Tech Rep DMA - 011/95, DMA Univ Palermo, Palermo, 1995.