

中图法分类号: TP301.6 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)02-0273-05

论文索引信息: 夏海英, 严国萍, 王标. 加权方差投影在眼角定位中的应用 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(2): 273-277

加权方差投影在眼角定位中的应用

夏海英, 严国萍, 王标

(华中科技大学电信系, 武汉 430074)

摘要: 提出了一种基于加权方差投影函数(WVPF)的眼角定位方法。该方法利用 Haar-like 特征训练级联分类器, 定位眼角的粗略位置。同时, 采用 Harris 角点检测中的角点响应函数作为加权因子函数, 构建了加权方差投影函数。考虑到眼角的角点特征, 眼角位置在眼角区域内的水平加权方差投影曲线和垂直加权方差投影曲线中都有峰值, 可通过对加权方差投影曲线的分析对眼角细定位。实验结果表明, 该方法在 BioID 人脸库中对眼角定位表现良好, 计算复杂度低。

关键词: 眼角; 基于加权方差投影函数; 角度响应函数; 定位

Weighted variance projection for eye corner location

Xia Haiying, Yan Guoping, Wang Biao

(Department of Electronics and Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074 China)

Abstract: We propose an approach for eye corner location based on weighted variance projection function(WVPF). The rough positions of eye corners are first detected using Haar-like features by Adaboost. Then, the weighted variance projection is designed by assigning the corner response function of Harris corner detector as our weight factor. Owing to the existence of both peaks of eye corner position at the projection curves of WVPF in horizontal and vertical directions, the eye corner positions are located by analysis of peaks of WVPF. Testing results on BioID face database show that our approach obtains high accuracy and low computation complexity.

Keywords: eye corner; WVPF; corner response function; location

0 引言

眼角是眼睛的重要特征部位, 不易受人脸表情, 眼睛状态的影响, 可作为人脸归一化的基准点, 在人脸识别、人脸表情识别中有着重要应用^[1]。由于瞳孔周围灰度特征显著, 传统的人脸图像归一化研究主要集中在对瞳孔中心的定位上。眼角周围灰度特征虽不如瞳孔周围明显, 但有着明显的角度特征, 可以用来进行眼角的精确定位。

与瞳孔定位方法相比, 眼角定位的研究是有限的。弹性模板匹配可用于定位眼角, 但模板参数很

难控制, 计算复杂度高。不当的模板参数得到的定位结果不准确^[2]。Zhu 和 Yang^[3]设计了一个角点滤波器, 与内眼角区域内的像素进行卷积。角点滤波器的最大响应值所对应的像素点就是内眼角点。该方法中的角点滤波器设计过于简单, 对内眼角变化鲁棒性差。文献[4]首先利用 Harris 角点检测算子检测出候选眼角点, 利用眼睛的边缘构建眼角模型, 再运用逻辑迭代分类器选择出真正的眼角点。这种方法需要获取良好的眼睛边缘。Feng 和 Yuen^[5]最早提出了(VPF)的概念, 并提出了一种用于人眼及眼角特征点定位的简单方法, 但是对眼角的定位精度不高。Zhou 和 Geng^[6]提出了广义投影

收稿日期: 2009-04-27; 修回日期: 2009-09-24

第一作者简介: 夏海英(1983—), 女, 华中科技大学电信系电路与系统专业博士研究生, 主要研究领域为人脸特征点提取及人脸表情识别。E-mail: xhyhust@yahoo.cn。

函数(GPF)的概念,即积分投影(IPF)和VPF的加权叠加。加权比例根据具体的人脸图像而定。

本文将 Harris 角点检测算子中的角点响应函数和方差投影函数结合起来,提出了一种加权方差投影函数(WVPF)。该方法首先定位人脸;其次,利用基于 Haar-like 特征的级联分类器定位眼角的大致位置;最后,根据对眼角区域内像素点进行加权,使得眼角位置在加权水平和垂直方差投影曲线中有明显的尖峰定位眼角。

1 WVPF 的设计

投影函数是一种有效的图像特征提取方法。通常,一幅 2 维图像可以由两个正交的 1 维投影来分析。维数的降低便于分析图像的特征,并且减少了计算量。常见的投影函数有 IPF,VPF。IPF 统计了图像均值的变化,而 VPF 统计了图像方差的变化。

1.1 方差投影函数

VPF 反映了图像某 1 行或某 1 列的灰度值的方差变化,可以通过对投影函数值的分析进行图像特征提取。设 $I(x, y)$ 是点 (x, y) 的像素强度值,在区间 $[y_1, y_2]$ 的垂直方差投影 $\delta_v^2(x)$ 和在区间 $[x_1, x_2]$ 上的水平方差投影 $\delta_h^2(y)$ 分别为

$$\delta_v^2(x) = \frac{1}{y_2 - y_1} \sum_{y_i=y_1}^{y_2} [I(x, y_i) - V_m(x)]^2 \quad (1)$$

$$V_m(x) = \frac{1}{y_2 - y_1} \int_{y_1}^{y_2} I(x, y) dy$$

$$\delta_h^2(y) = \frac{1}{x_2 - x_1} \sum_{x_i=x_1}^{x_2} [I(x_i, y) - H_m(y)]^2 \quad (2)$$

$$H_m(y) = \frac{1}{x_2 - x_1} \int_{x_1}^{x_2} I(x, y) dx$$

尽管与 IPF 相比较,VPF 对图像灰度变化更为敏感。但当 VPF 应用于眼角检测时,眼角定位结果误差较大。这主要是因为上下眼睑、眼白、瞳孔等对 VPF 投影曲线贡献较大,使得投影曲线中眼角附近特征不明显。因此,眼角难以从投影曲线中精确定位。从文献 [5] 中的实验结果可以得知,VPF 对定位眼睛的大致高度和虹膜的大致区域效果良好。为了精确定位眼角,本文利用 VPF 定位出眼角的大致区域。

1.2 加权方差投影函数

眼角实质上是上下眼睑的交点,具有明显的角点特征。加权因子需要能够反映眼角的角点特征。

为了达到这个目标,本文利用 Harris^[7] 角点检测中的角点响应函数作为加权因子函数。Harris 角点检测是一种基于图像局部区域自相关特性的算法,对旋转、缩放、噪声、亮度变化具有稳健性。因此,本文结合 Harris 中响应函数与 VPF,提出了 WVPF 进行眼角定位。Harris 中响应函数(CRF)可定义为

$$R = \det(\mathbf{M}) - k \text{tr}^2(\mathbf{M}) \quad (3)$$

$$\mathbf{M}(x, y) = \begin{bmatrix} I_u^2(x, y) & I_{uv}(x, y) \\ I_{uv}(x, y) & I_v^2(x, y) \end{bmatrix}$$

$$I_u^2(x, y) = X^2 \otimes h(x, y)$$

$$I_v^2(x, y) = Y^2 \otimes h(x, y)$$

$$I_{uv}(x, y) = XY \otimes h(x, y)$$

$$h(x, y) = \frac{1}{2\pi} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2}\right)$$

式中, $I_u(x, y)$ 和 $I_v(x, y)$ 是像素点 (x, y) 在 u 和 v 方向上的偏导; $I_{uv}(x, y)$ 是像素点 (x, y) 的混合二阶偏导; $h(x, y)$ 是高斯模板函数,用来降低噪声模板的影响; k 是经验值。 X 和 Y 是图像的一阶灰度梯度。

由式(3)可以看出, k 的取值需要一定的经验,而不当的 k 值会造成 Harris 算法性能急剧下降。为了避免人为因素影响,采用一种替代方式来计算角点响应函数

$$R = \frac{\det(\mathbf{M})}{\text{tr}^2(\mathbf{M}) + eps} \quad (4)$$

式中 eps 表示任意小的正数。该计算方法的性能已经在角点检测中得到验证。

角点响应函数确定后,加权因子函数 w 也随之可确定。

$$w = \omega \cdot R \quad (5)$$

式中, ω 为常数。因此,加权水平投影函数 $\delta_{uv}^2(x)$ 和加权垂直投影函数 $\delta_{vh}^2(y)$ 分别可表示为

$$\delta_{uv}^2(x) = \frac{1}{y_2 - y_1} \sum_{y_i=y_1}^{y_2} w(x, y_i) \cdot [I(x, y_i) - V_m(x)]^2 \quad (6)$$

$$\delta_{vh}^2(y) = \frac{1}{x_2 - x_1} \sum_{x_i=x_1}^{x_2} w(x_i, y) \cdot [I(x_i, y) - H_m(y)]^2 \quad (7)$$

WVPF 继承了 VPF 优点,同时又根据眼角区域像素点的角点响应函数值进行加权,增强了眼角的角点特征。因此,眼角位置在眼角区域内的 WVPF 投影曲线上有明显的特征,提高了检测精度。

2 眼角定位

本文首先对图像进行直方图均衡化,其次利用 Viola 和 Jones^[8] 的人脸检测算法检测出人脸,并在人脸中基于 Haar-like 特征检测出眼角的大致位置。最后,在眼角区域内进行加权方差投影进行眼角的细定位。

2.1 眼角粗定位

眼角粗检测算法与人脸检测算法一样,采用由 AdaBoost 训练得到的级联式眼角检测器定位眼角的大致位置。内外眼角分别由两个分类器进行检测。通过实验和理论分析,本文为内外眼角检测器设计出了两种类型的正样本。图 1 中的黑色原点为内外眼角在样本中所处的位置。

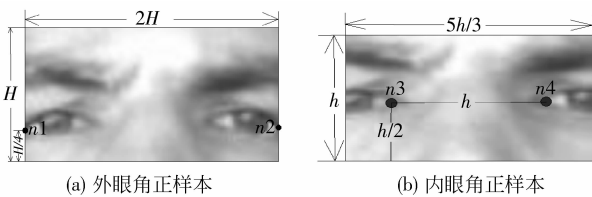


图 1 内外眼角正样本

Fig. 1 Positive samples of inners and outers

在训练内眼角检测器时,正样本采用了 2 000 个内眼角样本,其中 820 个取自 BioID 数据库,480 个取自 AR 数据库,700 个取自自选图片,而负样本采用了 3 000 幅不含内眼角的图片。在训练外眼角

检测器时,正负样本的选取方法同内眼角正负样本的选取方法。选取的正样本包含了不同头部姿态,不同光照条件,不同眼睛状态下的内外眼角样本,可以增强检测器对光线,头部姿态,眼睛状态的鲁棒性。内眼角正样本的尺寸最后被归一化为 24×12 ,作为 AdaBoost 训练的输入。外眼角正样本的尺寸最后被归一化为 24×16 。

正样本的选取规则是尽可能的去除背景信息。为了使得提取的正样本尽可能的对齐,AR 数据库和自选库中人脸的内外眼角位置使用特征点位置提取程序多次提取后进行平均。特征点位置提取程序基于 Microsoft Visual C++ 6.0 平台,允许用户手动选取特征点,并可自动保存在文本文件中。BioID 数据库中的每幅人脸图像均有一个文本文件,包含了我们需要的内外眼角位置信息。

图 2 给出部分内外眼角正样本及负样本。

2.2 基于 WVPF 的眼角细定位

WVPF 对具有角点特征的图像像素点更为敏感。眼角大致位置的确定缩小了目标区域,可提高 WVPF 对眼角检测速度和精度。眼角区域的大小为内外眼角距离的 $2/3$,中心位于检测出的眼角大致位置。首先,以垂直 WVPF 应用于眼角区域,定位出眼角的垂直坐标值,即图 3(b)中的峰值 $p1, p2$ 所对应的纵轴坐标 $y1, y2$ 。其次,水平 WVPF 应用于人眼区域,定位出眼角的水平坐标值,即(c)中的峰值 $p3, p4$ 所对应的纵轴坐标 $x1, x2$ 。因此,内外眼角就确定了。(d)中的点 $c1, c2$ 即为所求的内外眼角

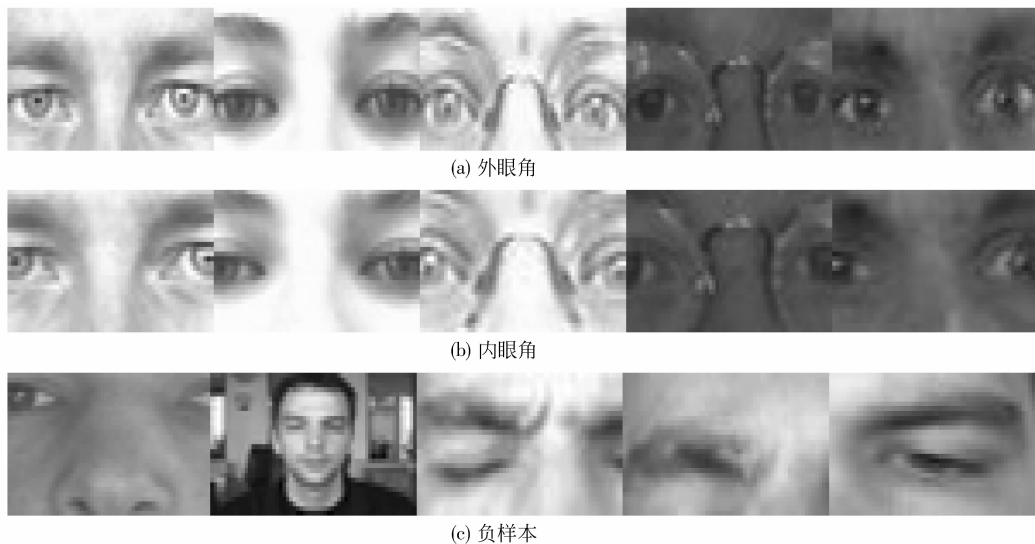


图 2 眼角正负样本

Fig. 2 Positive and negative samples

点,对应的坐标值分别为 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 。

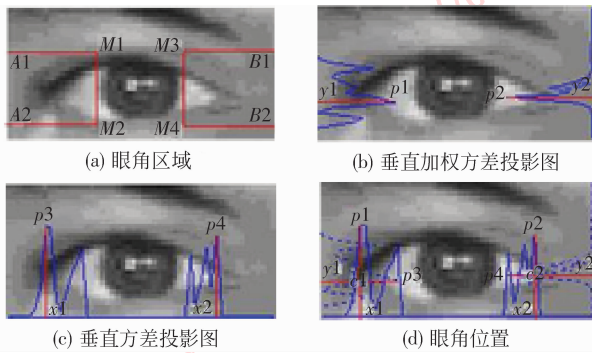


图 3 眼角定位过程

Fig. 3 The process of eye corner location

3 实验结果

实验采用 Matlab 平台,在 BioID 人脸库上对眼角进行检测。BioID 人脸库共包含 23 个不同人物的 1 521 张正面人脸灰度图片,图片中的人物大部分为欧美人,每张图片的分辨率为 384×286 。人脸图像在不同季节、地点采集,光线、背景、人脸大小均有较大的变化。除此以外,BioID 人脸库给出了 20 个人脸特征点的精确坐标位置,其中包括内外眼角,可作为检测 WVPF 眼角定位结果的标准。

首先在 BioID 人脸库中对内外眼角检测器的性能进行了测试,对内眼角的检测率达到 99.3%;对外眼角的检测率达到 98.7%。其次,在自己采集的人脸图片中对内外眼角检测器的性能进行了测试,检测结果良好。图 4 给出了部分检测结果。

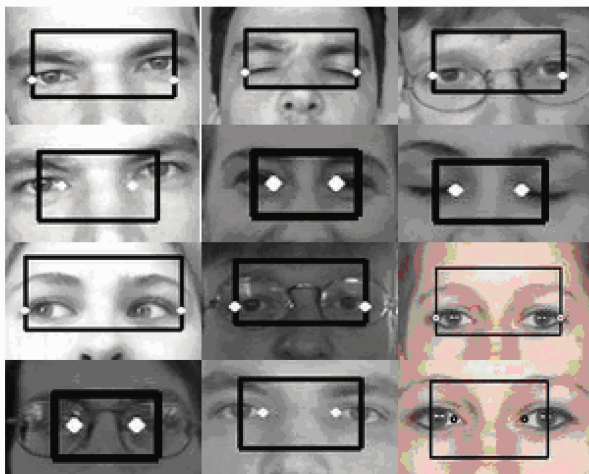


图 4 眼角粗检测结果

Fig. 4 Rough eye corner location results

接下来,本文验证了 BioID 人脸库中的人脸图像中 WVPF 的眼角检测性能。度量 WVPF 性能的方法是将实验所得眼角位置与 BioID 库中的标准位置相比,如果在 3 个像素的误差范围内,则认为定位到眼角位置;否则,定位失败。图 5 给出了部分眼角定位结果。

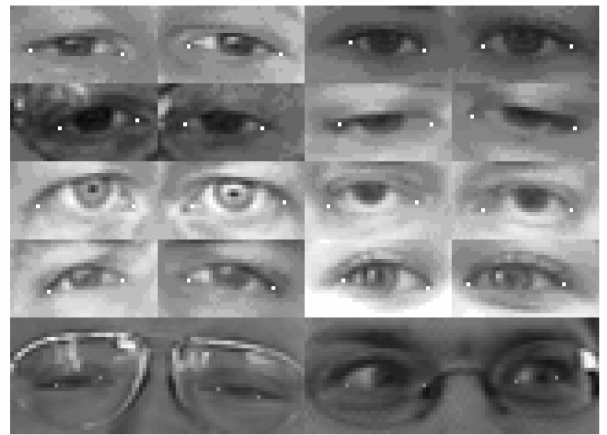


图 5 部分眼角定位结果

Fig. 5 Some eye corner location results

图 5 中的前 4 行给出的是正确眼角定位结果,而最后一行的眼角定位不准确。通过分析,得到造成定位不准确的两大因素:一个是眼睛闭着,或接近于闭着;二是眼球的位置太偏向于内眼角或外眼角。

为了对 WVPF 的定位性能进行比较,实验分别采用加权方差投影函数、方差投影函数和广义投影函数在 500 张随机从 BioID 人脸库中抽取的人脸图像中对眼角位置进行定位。

从表 1 可以看出,对于 BioID 人脸数据库,加权方差投影在检测正确率为 99%,明显优于积分方差投影函数和广义方差投影。WVPF 的检测率高的主要原因是结合了 Haar-like 特征对眼角先进行粗定位。

表 1 WVPF,VPF 和 GPF 的眼角检测率

Tab.1 Detection rates of WVPF,VPF and GPF

	WVPF	VPF	GPF
检测率/%	99	79	86

4 结论

提出了一种用于眼角定位的加权方差投影函数。加权方差投影函数利用了眼角的角响应函数

作为加权因子,突出了眼角对投影函数值的贡献,使得眼角位置在加权水平和垂直方差投影图中有明显的尖峰,提高了眼角定位精度。实验结果表明,在眼角定位方面,WVPF定位准确率高,可以作为脸部特征点定位的一个可选方法。

参考文献 (References)

- [1] Gu Hua, Sun Gugangda, Du Cheng. Automatic eye corner location in faces [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2004, 33(4):375-379. [顾华, 苏光大, 杜成. 人脸的眼角自动定位[J]. *红外与激光工程*, 2004, 33(4):375-379.]
- [2] Xie X, Sudhakar R, Zhuang H. On improving eye feature extraction using deformable templates [J]. *Pattern Recognition*, 1997, 27(6): 791-799.
- [3] Zhu J, Yang J. Subpixel eye gaze tracking [C]//*Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*. Washington, DC: IEEE, 2002: 124-129.
- [4] Xu Cui, Zheng Ying, Wang Zengfu. Semantic feature extraction for accurate eye corner detection [C]//*Proceedings of IEEE International Conference on Pattern Recognition Tampa FL: IEEE, USA, 2008: 1-4.*
- [5] Feng G C, Yuen P C. Variance projection function and its application to eye detection for human face recognition [J]. *Pattern Recognition*, 1998, 19(9):899-906.
- [6] Zhou Z, Geng X. Projection functions for eye detection [J]. *Pattern Recognition*, 2004, 37(5):1049-1049.
- [7] Harris C G, Stephens M J. A combined corner and edge detector [C]//*Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference*. Manchester England: IEEE, 1988: 147-151.
- [8] Viola P, Jones M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features [C]//*Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Hawaii, USA: IEEE, 2001: 511-518.*