

面向精神疲劳监测的实用虹膜定位方法

陈云华, 张 灵, 严明玉

(广东工业大学 计算机工程系, 广东 广州 510006)

摘 要: 针对精神疲劳监测中虹膜定位的实时性要求较高、背景较为固定以及可能存在头部扭转与脸部倾斜和遮挡等特点, 利用肤色模型快速定位与检测人脸、椭圆拟合进行人脸姿态估计与倾斜矫正, 方差投影粗定位眼睛、直方图统计和自定义窗函数获取自适应虹膜分割阈值对虹膜进行准确分割和定位, 形成一种实用虹膜定位与分割方法. 实验结果表明, 该方法不仅能够快速、准确地定位虹膜, 并且对存在较大角度的脸部扭转和倾斜以及头发遮挡的情况均能够有效处理.

关键词: 精神疲劳; 虹膜定位; 窗函数; 自适应阈值分割; 肤色模型

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)01-0017-04

A Practical Iris Positioning Method for Mental Fatigue Monitoring

CHEN Yun-hua, ZHANG Ling, YAN Ming-yu

(Department of Computer Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: This paper describes a practical tiered progressive real-time iris positioning method for mental fatigue monitoring. considering the process of face detection, the positioning of eyes and iris segmentation, is presented According to the characteristics of higher real-time performance demanding, with relatively fixed background and possible head rotation, face tilt and hair occlusion in iris localization for. Skin color model is used to rapidly detect face, ellipse fitting is used to perform face pose estimation and tilt correction, variance projection is used to roughly locate eyes, histogram and custom window function is used to adaptively obtain the iris threshold, and the adaptive threshold segmentation is used for accurate iris positioning. Experimental results show that our method can quickly and accurately locate the iris, can effectively handle the problem of face rotation and tilt in large angle and the facial obscured by hair.

Key words: mental fatigue; iris positioning; window function; adaptive threshold segmentation; skin color model

1 引言

眼睛状态和视线方向能可靠地反映人体精神疲劳状态, 而虹膜检测是进行眼睛状态判断和眼睛视线方向检测的关键步骤. 在眼睛状态检测中, 可以通过检测到的虹膜的形状特点来决定眼睛是开的还是闭的, 在眼睛视线方向检测中, 可以通过检测到虹膜并确定其位置来确定视线方向. 对于眼睛的定位, 目前有许多有效的算法^[1-2], 同时也出现了一些不同的虹膜检测方法, 主要分为变形模板方法和 Hough

变换方法^[3]. 变形模板方法的计算复杂度高, 很难满足实时性要求, 而 Hough 变换方法高度依赖于边缘检测算子的性能^[4].

文献[5-6]则是面向身份认证应用的虹膜检测与定位, 所提出的方法在准确性和实时性方面有较大提高, 但是实验结果却是基于专用的虹膜库中的虹膜图像进行的. 它与普通摄像头拍摄到的人脸图像中的虹膜相比, 差别非常大.

本文针对精神疲劳监测中虹膜定位的实时性要求高、背景较为固定以及可能存在头部扭转与脸部

倾斜和遮挡等特点,综合考察人脸检测、眼睛定位和虹膜分割过程,将这三个过程结合成一个有机的整体来考虑,提出一种实用的虹膜定位方法。

2 面向精神疲劳监测的实用虹膜定位

2.1 算法流程图

本文算法流程图如图 1 所示。

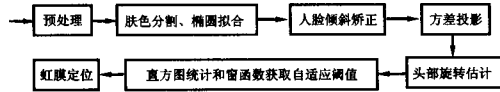


图 1 本文算法流程

2.2 亮度补偿预处理

由于光照方向和图像获取设备的不确定,会导致图像亮度不均匀,而亮度变化会对颜色特征造成影响,从而影响肤色检测。本文利用下式进行亮度调整。

$$k = \frac{Y_{std}}{Y_{ave}}, \quad Y' = Y * k \quad (1)$$

式中, Y_{std} 代表标准亮度,在室内普通光照强度下拍摄相同背景的视频 n 帧,选取亮度分量的平均值作为 Y_{std} , Y_{ave} 为实时采集的视频的亮度分量平均值。

2.3 肤色分割及椭圆拟合人脸轮廓

常用的颜色空间有 RGB, YUV, HSV 等,本文在采集视频时选用 YUV 颜色模式,在计算视频帧差时,直接对亮度分量 Y 进行,不需要进行额外色彩空间的转换。YUV 颜色模型也称 YCrCb,其中 Y 表示图像的亮度信号, Cr 和 Cb 则分别表示红色和蓝色的色度。该色彩空间是以演播室质量标准为目标的 CCIR601 编码方案中采用的色彩表示模型,广泛用于图像和视频压缩标准例如 MPEG 和 JPEG。而且,相对于 RGB 颜色空间,肤色在 YCrCb 色彩空间具有更好的聚类特性。为了进一步消除色度分量 Cr 、 Cb 与亮度分量 Y 的相关性,文献[7]对 $YCrCb$ 颜色空间进行分段线性变换得到 $YC_r'Cb'$ 空间,在帧差图像轮廓所确定的区域范围内,利用文献[7]中所给出的肤色模型进行肤色分割,结果如图 2(a) 所示。

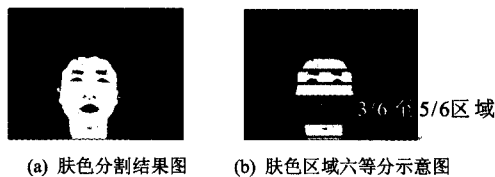


图 2 肤色分割结果及 6 等分示意图

考虑到人的额头部位可能会存在头发遮挡,同时考虑到颈部具有与脸部相近的肤色,将肤色区域纵向均匀划分成 6 等分如图 2(b) 所示,对从上往下 3/6 到 5/6 范围内的区域利用 sobel 算子对二值图像进行边缘检测。在最外边的左右边缘上选取距离足够大的 4 个点,利用文献[8]中的方法确定椭圆的中心点坐标 (p, q) ,得到椭圆方程的通式:

$$A(x-p)^2 + 2B(x-p)(y-q) + C(p-q)^2 \quad (2)$$

再在边缘上选取 3 个像素点,将其坐标代入上述方程式中,求出方程式的参数 A, B, C 的值。由方程组

$$\begin{cases} 1/a^2 + 1/b^2 = A + C \\ (A - 1/a^2)(1/b^2 - A) = B^2 \end{cases} \quad (3)$$

可得到椭圆长短轴的半径 a 和 b 的值,代入下式中可得到偏转角度 θ 的值。

$$\sin \theta \cos \theta (1/b^2 - 1/a^2) = B \quad (4)$$

由于人脸并不是一个完美的椭圆,存在椭圆的偏离情况,求取能够最多匹配人脸轮廓点的椭圆作为人脸结构,做法是对椭圆长短轴按比例进行 n 次 (n 值由实验确定)扩缩,计算落在这些扩缩得到的椭圆上的边缘像素点个数,取像素数最多的椭圆作为人脸轮廓拟合的最终结果。结果如图 3 所示。



图 3 人脸椭圆拟合结果图

2.4 头部倾斜矫正与眼睛定位

2.4.1 头部倾斜矫正

根据椭圆拟合的结果可得到倾斜角 θ , 如果 $|\theta - \pi/2| > \epsilon$, ϵ 为一个阈值,若倾斜角度超过该阈值,认为人脸产生了倾斜,对倾斜人脸采用如下变换进行矫正:

$$\begin{cases} x' = x \cos \varphi + y \sin \varphi \\ y' = -x \sin \varphi + y \cos \varphi \end{cases} \quad (5)$$

其中, $\varphi = -\theta$, (x', y') 为点 (x, y) 绕中心点旋转 φ 后得到的点。

2.4.2 虹膜粗定位

取矫正后的椭圆区域 0 到 2/6 范围,进行方差投影操作。由于该部分不包括鼻孔、嘴巴等部位,投影结果更容易定位眼睛。截取眼睛部位的垂直、水平方差投影结果如图 4 所示,由图可知,曲线的波峰部位分别对应眼睛的横坐标和纵坐标,记为左眼 (x_{0l}, y_0) , 右眼 (x_{0r}, y_0) 。垂直投影中波谷对应鼻梁的横

坐标,鼻梁部位与眼睛同一水平位置点坐标记为 (x_N, y_0) .

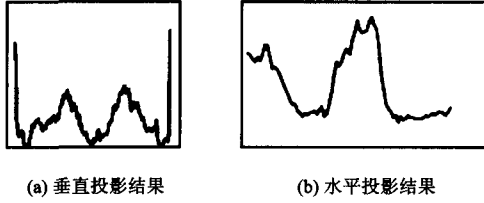


图 4 眼睛部位垂直和水平投影结果

由于投影结果中可能会出现多个相隔很近的峰值,如图 4(b)所示,为了使定位结果更为稳健,本文提出利用如图 5 所示滑动窗口来求取投影函数的最大值的方法.本文认为,对一定范围内像素点的和求取最大值,将会比对单个像素点求取最大值更稳健.为此,本文给出窗函数的定义如下:

$$W(i) = \sum_{x=i}^{i+N-1} f(x) \quad (6)$$

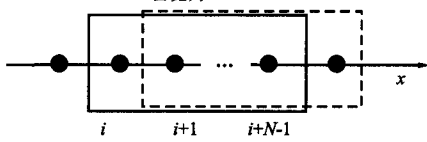


图 5 滑动窗口示意图

其中, N 表示窗的宽度,其值可根据实验结果进行选取; $f(\cdot)$ 表示需要求取最值的函数表达式.由此,可得眼睛的初始横坐标和纵坐标:

$$x_0 = \operatorname{argmax}_i (W(i)) = \operatorname{argmax}_i \left(\sum_{x=i}^{i+N-1} \operatorname{Var}_v(x) \right) \quad (7)$$

$$y_0 = \operatorname{argmax}_j (W(j)) = \operatorname{argmax}_j \left(\sum_{y=j}^{j+N-1} \operatorname{Var}_h(y) \right) \quad (8)$$

其中, $\operatorname{argmax}_i (W(i))$ 表示求取当函数 $W(i)$ 取得最大值时所对应的坐标 i . 根据虹膜与人脸的比例关系,选取初始半径 $r_0 = \sqrt{kab}$, k 为虹膜占人脸的比例上限, a, b 为椭圆的长短半轴. 以初始坐标画圆,得到粗定位虹膜区域如图 6 所示,图中两眼中间的白色菱形标记代表鼻梁的坐标位置.

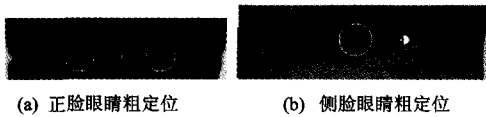


图 6 虹膜粗定位及鼻梁位置标记图

2.4.3 头部扭转估计

当头部扭转达到一定的角度,则两只眼睛中离摄像头近的那只形变较小,另一只则较大,因而应选择近的那只眼睛进行处理. 在正面人脸中,鼻子的纵

坐标应该处在脸部中间,而当头部旋转时,鼻子纵坐标相对于脸部的位置会发生变化如图 6(b)所示.

利用下式计算鼻子和眼睛的相对位置:

$$\xi = \frac{x_N - x_{fr}}{x_{fl} - x_N} \quad (9)$$

式中 x_{fr}, x_{fl} 代表与两只眼睛在同一水平线上的脸部右边缘横坐标和脸部左边缘横坐标,根据下面的规则估计头部的旋转方向:

(1) 若 $\xi \gg 1$, 表明头部发生了逆时针旋转;应选择右眼进行处理.

(2) 若 $\xi \ll 1$, 表明头部发生了顺时针旋转;应选择左眼进行处理.

(3) 若 $\xi \rightarrow 1$, 表明头部无旋转. 任选一只眼睛即可.

2.4.4 自适应阈值虹膜分割与定位

不同光照背景下虹膜的亮度值有所不同,但是虹膜相对于面部其它部位,亮度值偏低,因此,可利用这一点自适应地获取虹膜分割的阈值,从而提高虹膜阈值分割的鲁棒性. 自适应阈值的获取方法如下:

首先,统计初始人眼区域内灰度直方图,

$$p(s_k) = n_k / n, \quad k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (10)$$

结果如图 7(a)所示,从图中可以看出,原始灰度直方图中存在多个相近峰值点,然后,采用 2.4.2 节中定义的窗函数对灰度直方图进行处理,窗宽为 10 个像素,结果如图 7(b). 由于虹膜部位量度值偏低,图中最左边的第 1 个峰值处所对应的横坐标即为虹膜分割阈值 T_1 .

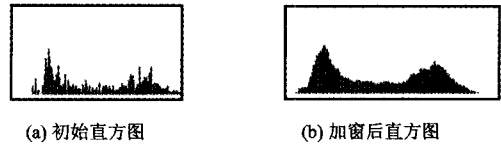


图 7 加窗前后直方图比较

$$T_1 = \operatorname{argmax}_k (W(k)) = \operatorname{argmax}_k \left(\sum_{f=k}^{k+N-1} p(f) \right) \quad (11)$$

利用阈值 T_1 进行虹膜分割结果如图 8(a)所示,用分割得到的虹膜区域的重心坐标替换方差投影所得到的初始坐标,得到新的圆,即为虹膜的精确位置,如图 8(b)所示.



图 8 自适应阈值虹膜定位

3 实验结果

截取部分实验结果如图 9 所示.

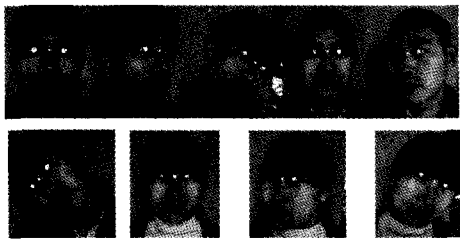


图 9 各种姿态实验结果图片

采用大恒图像采集卡 CG400、TOTA500-III 摄像机采集 20 段视频序列进行实验,图像大小为 480×360,使用 i5 2.5 GHz CPU、4GB 内存 PC 机进行处理,软件编程环境:Win 7 旗舰版,Visual Studio 2008 平台,OpenCV 2.1 库.对睁眼虹膜定位准确率达到 96.7%,平均每帧处理时间 50 ms 左右,完全能够满足实时性要求.

将本文方法与文献中的几种方法进行了比较,结果如表 1 所示.

表 1 几种虹膜定位算法比较

算法	检测率 (%)	定位时间 (s/帧)	人脸姿态
变形模板 ^[4]	88.3	0.53	正面人脸
Canny-Hough ^[5]	85.9	0.36	正面人脸
彩色分割-Hough ^[6]	96.2	0.15	多姿态
本文方法	96.7	0.05	多姿态

从表 1 可看出,本文算法不仅能够适用于不同姿态人脸中的虹膜定位,而且在准确率和实时性方面均优于其它方法.

4 结束语

本文所提方法,利用肤色模型进行人脸分割,较好地解决了头部扭转、脸部倾斜和头发遮挡问题;椭圆拟合人脸轮廓,可进行脸部倾斜判断和矫正,经过倾斜矫正后的图像可以利用方差投影法获取眼睛、鼻梁的坐标,从而利用鼻子的相对位置进行头部旋转估计,选择形变较小的眼睛进行自适应阈值分割

和虹膜定位.本文算法具有准确性高,实时性好;具有抗大角度的脸部倾斜和旋转的能力,与人脸的平面旋转、立体旋转无关,解决了头部旋转不确定性的问题,对局部光照变化不敏感;对不同的人 and 不同的发型具有鲁棒性.实验结果验证了本文算法的有效性.算法也存在不足之处:镜片反光会造成虹膜的分割准确率降低,算法对眼镜遮挡下的虹膜的分割有待改进.

参考文献:

[1] Hong Wen-bing, Chen Chin-yuan. Driver fatigue detection based on eye tracking and dynamic template matching[C]//Proc. of IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, China: Taipei, IEEE Press, 2004:7-12.

[2] 耿新,周志华,陈世福.基于混合投影函数的眼睛定位[J].软件学报,2003,14(8):1394-1399.

[3] Yuille A, Hallinan P, Cohen D S. Feature extraction from faces using deformable templates[J]. International Journal of Computer Vision, 1992, 8(2): 99-111.

[4] Tian Y L, Kanade Cohn J E. Dual-state parametric eye tracking[C]//Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FG'00). Grenoble, France, 2000:110-115.

[5] 陈摇前,王魁菁,刘小华,等.一种快速的虹膜定位算法[J].吉林大学学报:理学版,2011,49(6):1095-1100.

[6] 刘元宁,胡宗星,朱晓.基于轮廓跟踪的虹膜定位算法[J].吉林大学学报:理学版,2011,49(2):273-278.

[7] 夏思宇,夏良正.一种快速的彩色序列图像人脸检测算法[J].数据采集与处理,2005,20(2):208-212.

[8] 赵明华,游志胜,穆万军,等.基于肤色分割、数学形态学和几何方法的人脸检测[J].四川大学学报,2005,42(3):617-620.

作者简介:

陈云华 女,(1977—),博士研究生,讲师.研究方向为图像分析与识别、可拓检测.

张 灵 博士,教授.研究方向为数字信号处理及自动化装备

严明玉 男.研究方向为图像处理与分析.