

文章编号:1000-582X(2010)11-020-07

头部多角度的眼睛定位与状态分析

朱淑亮¹,王增才¹,王树梁¹,刘盛强²

(1. 山东大学 机械工程学院, 山东 济南 250061; 2. 中国重型汽车集团有限公司, 山东 济南 250002)

摘要:针对彩色图像中人脸在多角度状态下眼睛定位困难的现状,提出了一种基于颜色信息且不受头部姿势影响的人眼精确定位的新方法。该算法首先检测出彩色图像中的人脸位置;然后在人脸区域内,根据肤色与眼睛、眉毛等颜色的差异性进行区分,得到脸部区域的非皮肤部分;接着对非皮肤部分进行数学形态运算,去除干扰点;然后采用平均复杂度方法定位出眼睛区域,并采用相似度计算检验眼睛定位正确与否;最后在眼睛区域内,精确定位眼白、虹膜,通过计算眼睛面积分析眼睛睁开程度。实验结果表明,该算法能精确检测出彩色图像中的眼睛并能快速判断出眼睛的状态。该方法不受头部姿势影响,计算简单,运算速度快,在定位精度及状态判断上具有优势。

关键词:多角度;人脸肤色;特征提取;图像分析;计算复杂度

中图分类号:TP391.4

文献标志码:A

Eye localization and state analysis of head multi-position in color image

ZHU Shu-liang¹, WANG Zeng-cai¹, WANG Shu-liang¹, LIU Sheng-qiang²

(1. School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan, Shandong 250061, P. R. China;

2. China National Heavy Duty Truck Group Co., Ltd., Jinan, Shandong 250002, P. R. China)

Abstract: To solve the problem of eye localization of human face in multi-angle state of color image, a new method for the location and extraction of the eye image based on color information is proposed, and the method is not influenced by head posture. Firstly, face is detected in color images. Next, the non-skin region in the face area is found based on the difference between skin and eyes/eyebrows. In order to remove the interference points, mathematical calculation is exploited for the non-skin part. Then, eyes are detected with the method of average complexity. The 2-D correlation coefficient is used as a symmetry similarity measure to check the factuality of the 2 detected eyes. Finally, the white and iris of the eyes are precisely located in the eye region, and the eye opening extent can be measured by calculating the eye area. The experimental results demonstrate the proposed method can accurately detect eyes and determine the state of the eye quickly. The method is simple and fast, and has advantage in positioning accuracy and state analysis.

Key words: multi-angle; face color; feature extraction; image analysis; computational complexity

眼睛作为人脸的主要特征,在人脸检测和识别中都发挥着重要作用。眼睛自动定位是人脸识别中

一个非常重要的方向,因为与人脸其他部件如鼻子、嘴巴相比,眼睛区域不仅包含了丰富的、区别于其他

收稿日期:2010-06-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30870652C100401);山东省中青年科学家科研奖励基金资助项目(2007BS03010)

作者简介:朱淑亮(1982-),男,山东大学博士研究生,主要从事汽车安全与人机工程方面的研究。

王增才(联系人),男,山东大学教授,博士生导师,(E-mail) sdu.mec@gmail.com。

人的重要信息,而且是对图像进行旋转校正、归一化和均衡化的前提,同时也是人脸其他部位检测和提取的基础。目前的眼睛定位方法较多,主要有四大方法:区域分割法^[1-2]、边缘提取法^[3-5]、灰度投影法^[6]和模板匹配^[7-8]法。区域分割法首先对人脸的二值图像进行区域分割,然后设定一系列经验值和支持函数粗定位眼睛,该方法对于如人眼闭合、戴眼镜等一些情况定位效果较差;边缘提取法首先对人脸图像进行边缘提取,然后用霍夫变换检测眼球,构造一个包括眼睛、眼睑的眼部模板,用一系列函数从能量角度找出眼睑,该方法需要做大量预处理,参数过多的眼部模板不适用于个体差异太大的人脸;灰度投影法对人脸图像进行水平和垂直方向的投影,根据波峰波谷的分布信息来定位眼睛,这种方法定位速度较快,但波峰、波谷的分布对不同的人脸和姿态的变化非常敏感,因此定位精度较差,并且容易陷入局部最小而导致定位失败;模板匹配是一种常用的眼睛定位方法,首先要分别得到左眼和右眼模板(模板可以根据眼睛参数进行构造,也可以从人脸库中进行选取),然后分别用左眼模板和右眼模板在图像中进行匹配,分别得到 2 个相似度最大的点作为定位的眼睛,这种方法使用方便,不需要大量的先验信息,但是计算量较大,不能同时实现双眼定位,结果也往往只能定位到一只眼睛;文献[9]利用可变形模板法来检测人眼,其优点是不仅能定位眼睛,还能确定人眼的轮廓,但是它的计算量太大。此外还有一些其他的定位算法,如文献[10]基于 SVM 的眼睛定位方法等。

已有的眼睛状态识别方法主要有两类:基于机器学习的分类法和基于图像理解的分析法。文献[11]中提出使用 ICA 和 HMM 识别眼睛睁闭状态,得到了较高的识别率,但是需要大量眼睛样本进行训练。文献[12]中利用 Hough 变换检测圆的方法将上眼睑拟合为一段圆弧,判断眼睛开合状态时计算圆弧所对应的圆心角。该方法简单可行,但是耗时较大。文献[13]采用灰度模板匹配的方法进行人眼状态的判断,灰度模板的匹配对图像旋转有一定的敏感性。文献[14]等则结合灰度投影和霍夫变换进行眼部状态识别。

笔者提出一种复杂背景下彩色图像中人脸在任意姿势下的眼睛快速检测算法,利用人眼与皮肤在色彩上的差异进行眼睛定位的方法。首先采用基于肤色的人脸检测方法定位人脸,再根据颜色差异性分割人脸图像,把皮肤跟非皮肤部分区分出来,然后采用形态学运算去除非肤色区域中的干扰区域来逐

步优化可能的眼睛区域,最后结合人眼的几何特征、灰度特征实现人眼的快速准确定位。

1 人脸检测定位

基于颜色的皮肤检测具有简单、快速,不受物体形状变化和视点改变等影响的优点,是皮肤检测领域中最活跃的研究方向。对 RGB 图像进行光照校正后,对输入彩色图像进行颜色空间转换,将其从相关性较高的 RGB 空间转换到颜色分量相关性很小的 YCbCr 空间。不同人的皮肤在 YCbCr 颜色空间上色度信息 C_b 、 C_r 具有一定的分布特性。虽然不同人的皮肤有差异,但是他们在 C_b 、 C_r 色度上的差异远小于亮度上的差异。文献[15]研究验证了不同肤色的人脸皮肤的颜色信息 C_b 、 C_r 的组成向量 $\mathbf{x} = (C_r, C_b)^T$ 的分布,基本符合高斯分布的规律。笔者选用 YCbCr 空间作为肤色分布统计的映射空间,选择高斯模型作为进行人脸定位的肤色模型是合适的。

2 面部区域肤色检测

2.1 面部区域颜色判断

由于人脸肤色符合关系: $R > G, R > B$ 即红色分量大于其他 2 个分量,肤色呈现红色。据此进行肤色检测,判断公式为

$$\begin{aligned} R - G &> K, \\ R - B &> K. \end{aligned} \quad (1)$$

由于红色分量大于其他 2 个分量, $K=0$ 即满足人脸肤色关系,为增加判断的可靠性,通过对 2 000 张不同人脸图像实验,得出当 $K=20$ 时,肤色呈现红色,特征较为明显。

由此可以完整地地区分出皮肤区域和非皮肤区域。其映射图如图 1(b)所示。

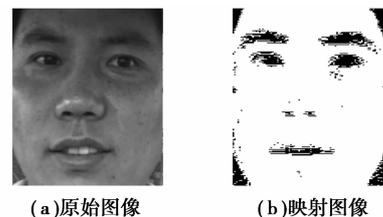


图 1 人脸图像

从图 1(b)中可以看出,皮肤区域被很好地分割出来,映射图像中只包括眼睛、眉毛、鼻子及嘴巴等非皮肤区域。这样就可以将眼睛与皮肤分割开,缩小了定位眼睛的候选区域,减小计算量,提高检测速

度。同时因映射图中存在若干小黑点等干扰,需对其进行数学形态运算,消除干扰。

2.2 数学形态运算

数学形态学以几何学为基础对图像进行分析,数学形态学是一种非线性滤波方法。其基本思想是用一个结构元素作为基本工具来探测和提取图像特征,看这个结构元素是否能够适当有效地放入图像内部。数学形态学是由一组形态学的代数运算符组成,主要有膨胀(Dilation)和腐蚀(Erosion)及建立在这 2 种运算基础之上的开(Open)、闭(Close)运算。数学形态学可以用来解决抑制噪声、特征提取、边缘检测、图像分割、形状识别、纹理分析、图像恢复与重建及图像压缩等图像处理问题。

在形态学中,结构元素是最重要最基本的概念。结构元素在形态变换中的作用相当于信号处理中的“滤波窗口”。用 $B(x)$ 代表结构元素,对工作空间 E 中的每一点 x ,腐蚀和膨胀的定义为

$$\text{腐蚀: } X = E \cdot B = \{x; B(x) \subset E\}, \quad (2)$$

$$\text{膨胀: } Y = E \oplus B = \{y; B(y) \cap E \neq \varphi\}. \quad (3)$$

用 $B(x)$ 对 E 进行腐蚀的结果就是把结构元素 B 平移后使 B 包含于 E 的所有点构成的集合。用 $B(x)$ 对 E 进行膨胀的结果就是把结构元素 B 平移后使 B 与 E 的交集非空的点构成的集合。先腐蚀后膨胀的过程称为开运算。它具有消除细小物体,在纤细处分离物体和平滑较大物体边界的作用。先膨胀后腐蚀的过程称为闭运算。它具有填充物体内细小空洞,连接邻近物体和平滑边界的作用。

从原始二值人脸图像(图 1(b))可以看出,噪声信号主要表现为点状、块状和带状噪声,以及内部的孔状噪声等。所以应对二值图像进行滤波,以消除噪声干扰,便于后续图像处理。滤波的主要任务是消除图像点状、块状和孔状噪声,以便得到完整的人脸特征块。针对原始二值图像的特点,选择矩形结构元素对图像进行形态滤波。具体如下:

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

笔者首先对图像进行闭运算,然后再进行开运算。经过形态运算后人脸二值化图像如图 2(a)所示,去掉了很多干扰点,平滑了图像边缘,使得图像特征更加明显。为快速定位眼睛需去掉图像中一些非相似区域及小面积的黑色区域,如鼻孔处图像块面积明显小于眼睛面积。由于眼睛位于面部的中间偏上位置,因此图像边缘由头发等原因产生的黑色区域也可滤掉。滤掉后图像如图 2(b)所示。

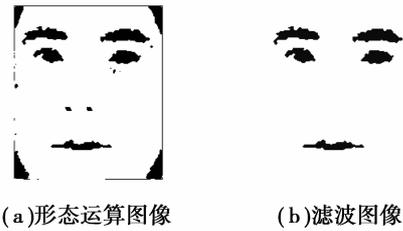


图 2 处理后的人脸图像

可以看出图像已经滤掉了头发等干扰点,现只包含眼睛、眉毛及嘴巴特征点,这样就可以快速准确定位眼睛。

3 眼睛定位及验证

3.1 眼睛定位

由于图像中眼睛的灰度变化最大,眼睑与周围有很大的差值,眼睛是面部区域最复杂的区域,因此,可以通过该特征定位眼睛区域。

复杂度是指灰度变化的程度。由于图像特征块大小不同,复杂度最大的并不能说明该区域为眼睛,因此引进平均复杂度。定义为

$$\overline{C(k)} = \frac{\sum_{(i_0, j_0) \in \Omega} \sum_{(i, j) \in \Omega_1} |I(i_0, j_0) - I(i, j)|}{N}, \quad (5)$$

式中: Ω 为图像特征块区域; $I(i_0, j_0)$ 为中心像素值; Ω_1 为中心像素 (i_0, j_0) 的 8 邻域; $I(i, j)$ 为 8 邻域像素值; N 为特征块区域的像素个数。

平均复杂度可以表示出特征块的灰度平均变化程度,而不受特征块大小的影响,因此可以通过计算每个特征块的平均复杂度来定位眼睛。平均复杂度最大的 2 个连通域为眼睛区域。

该算法不受头部姿势的影响,即使两眼不在同一水平线上,也能准确地检测出眼睛的位置。

3.2 眼睛验证

定位出眼睛后,需对定位出的眼睛进行验证,以确保眼睛定位的准确性。采用计算两区域图像的结构相似度的方法验证是否为人眼, Wang^[16] 等人认为,自然图像的像素之间存在很强的相关性,这种相关性表现为图像的高度结构性,为此提出了基于图像结构相似度的质量评价方法 SSIM。

SSIM 包括 3 个部分,分别为:亮度比较、对比度比较和结构信息的比较,其表达式分别为

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1}, \quad (6)$$

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2}, \quad (7)$$

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x \sigma_y + C_3} \quad (8)$$

这 3 部分组成了模型的评判方法

$$L_{SSIM}(x, y) = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [s(x, y)]^\gamma, \quad (9)$$

式中: x, y 分别为检测出的两图像块; μ_x 和 μ_y 分别为 x 和 y 的均值; σ_x 和 σ_y 分别为 x 和 y 的标准差; σ_{xy} 为 x 和 y 的协方差; 参数 α, β, γ 均大于零, 以调整 3 个部分所占的比重; C_1, C_2, C_3 是为了避免分母为零而设的小常数, 其中 $C_1 = (K_1 L)^2, C_2 = (K_2 L)^2, C_3 = C_2 / 2, K_1 \leq 1, K_2 \leq 1; L$ 是像素的动态范围(若是 8 位灰度图像则 $L = 255$)。

以上算法使用在灰度图像中, 在彩色图像 RGB 中计算结构相似度, 定义为

$$L_{MSSIM}(x, y) = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 L_{SSIM}(x_i, y_i), \quad (10)$$

式中: x, y 分别代表检测出的 2 个区域; i 表示 RGB 中的 3 个通道; x_i, y_i 分别表示第 i 个通道图像块。

4 眼睛状态分析

彩色图像中, 根据颜色和形状特征去除边缘部分, 只保留眼球部分。眼球主要为白色(眼白)和深黑色(虹膜、瞳孔), 这样只要在眼睛区域, 找出眼白和虹膜的大小、位置即可实现眼睛的精确定位。

4.1 眼白检测

在彩色图像中, 由于眼睛区域内, 只有眼白是白色的, 根据此颜色信息就可简单地检测出眼白。

4.2 虹膜检测

检测出眼白后, 建立如下数学模型。假设: 每只眼睛的眼白质心为 A, B , 连接两质心点, 则直线 AB 必经过虹膜和瞳孔, 这样在直线 AB 上就只存在 3 种颜色不同的物体: 眼白、虹膜、瞳孔。

直线和虹膜边缘处的交点记为 A_0, B_0 , 它为虹膜边缘点。从 $A_0(B_0)$ 点开始沿虹膜边缘(黑点)向两侧生长, 两侧生长点分别为 $A_{1n}(B_{1n}), A_{2n}(B_{2n})$, 如图 3 所示。生长规则如下:

- 1) 当前生长点 A_{1n} 与上一生长点 $A_{1(n-1)}$ 4 邻域相邻;
- 2) 生长点 A_{1n} 在 8 邻域内有白点;
- 3) $A_{1n}(B_{1n})$ 在直线 AB 上方寻找, $A_{2n}(B_{2n})$ 在直线 AB 下方寻找。

生长示意图如图 4 所示。这样依次递推, 直到满足如下条件, 递推结束。

- 1) 当直线 A_{1n} 与 B_{1n} 之间的距离最小时, A_{1n} 与 B_{1n} 结束递推;

- 2) 当直线 A_{2n} 与 B_{2n} 之间的距离最小时, A_{2n} 与 B_{2n} 结束递推。

根据以上递推确定眼白、眼睑、虹膜处的 4 个交点: $A_{1n}, B_{1n}, A_{2n}, B_{2n}$, 如图 3 所示。 A_{1n} 与 B_{1n}, A_{2n} 与 B_{2n} 之间的眼睑用直线拟合, 由于先前已经定位出眼白位置, 这样即可精确定位出眼睛区域, 定位效果如图 5 所示。

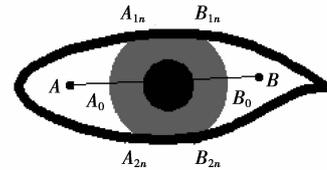


图 3 眼睛模型

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

图 4 边缘生长模型



图 5 眼睛定位效果

4.3 眼睛状态计算

眼睛状态主要就是指眼睛的睁开程度, 眼睛的睁开程度最直接的反映就是眼睛面积的变化, 即眼白和虹膜面积的变化。眼睛的面积定义图像中眼睛区域的像素数目, 即定位区域(眼白和瞳孔)的像素数。当眼睛为完全睁开状态时, 像素数最多, 即面积最大, 设为 S_{max} 。

将眼睛数学模型为一椭圆, 椭圆面积为

$$S = \pi ab, \quad (11)$$

式中: a 为短轴, b 为长轴, 短轴为眼睛睁开程度, 长轴为眼睛宽度。在眼睛张合过程中, 假设眼睛的长轴保持不变, 眼睛睁开百分比为

$$p = \frac{a}{a_{\max}} = \frac{S}{S_{\max}}, \quad (12)$$

式中, a_{\max} 为眼睛睁开最大值。通过式(12)可以看出, 眼睛睁开百分比与眼睛的面积呈正比。

通过计算眼睛面积进行眼睛状态判断, 比神经网络识别方法简单省时, 比拟合眼睑曲线的可靠性要高。由于眼睛内部与眼睑及周围肤色相差较大, 容易区分, 因此笔者方法具有更高的鲁棒性, 其算法流程如图 6 所示。

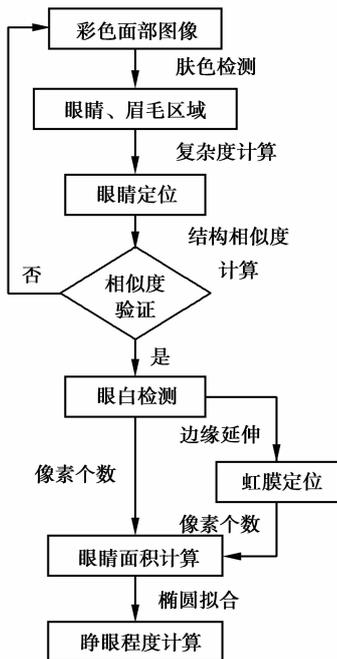


图 6 算法流程图

5 实验与讨论

笔者使用自建彩色人脸库进行眼睛定位的实验。应用本文算法眼睛定位部分实例如下。

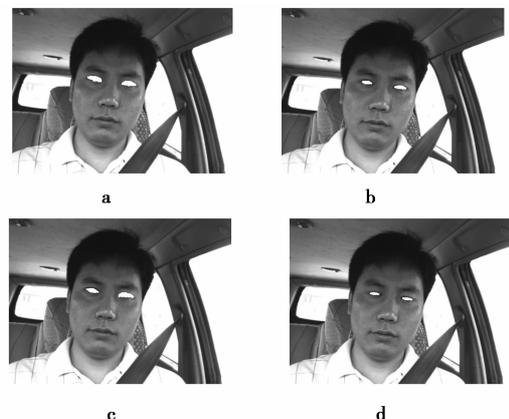
图 7 中的 3 组图像, 驾驶员的面部都有一定的倾斜角度, 眼睛并不在同一水平线上, 由于本文算法不涉及类似于投影算法的方向性运算, 因此可以准确地定位出眼睛, 实验图像也验证了本文算法的有效性。

表 1 为图 7 中眼睛的参数, 可以看出眼睛的平均复杂度在 30 左右, 远高于眉毛的 10 左右, 分界明显, 可以作为检测眼睛的判断根据。同时双眼具有较高的相似度, 在此设定结构相似度满足 $L_{\text{MSSIM}} > 0.70$, 两区域就为相似区域。

本实验采用 Jesorsky 等人的检测标准^[17]。设手工标定的左右眼睛准确位置分别为 E_l 和 E_r , 检测



(a)第1组



(b)第2组



(c)第3组

图 7 眼睛定位实验

到的左右眼睛位置分别为 E'_l 和 E'_r , d_l 为 E_l 到 E'_l 的欧氏距离, d_r 为 E_r 到 E'_r 的欧氏距离, d_{lr} 为 E_l 到 E_r 的欧氏距离, 则检测的相对误差定义为

$$E_r = \frac{\max(d_l, d_r)}{d_{lr}}. \quad (13)$$

根据文献[14]如果 $E_r < 0.25$, 则认为检测结果是正确的, 否则错误。图 7 中眼睛检测误差如表 2 所示。

表 1 眼睛参数

| 实验组别 | 平均复杂度 | | | | 双眼相似度 | |
|-------|-------|------|------|------|-------|------|
| | 左眼 | 右眼 | 左眉 | 右眉 | | |
| 第 1 组 | a | 25.4 | 18.1 | 6.7 | 5.3 | 0.93 |
| | b | 28.7 | 29.1 | 4.3 | 6.2 | 0.89 |
| | c | 27.8 | 26.3 | 5.8 | 7.5 | 0.86 |
| | d | 31.3 | 29.4 | 7.1 | 8.9 | 0.88 |
| 第 2 组 | a | 30.1 | 34.3 | 8.9 | 9.4 | 0.93 |
| | b | 27.9 | 32.2 | 9.1 | 7.8 | 0.92 |
| | c | 25.9 | 30.0 | 7.6 | 8.8 | 0.85 |
| | d | 26.0 | 29.4 | 10.2 | 8.9 | 0.86 |
| 第 3 组 | a | 24.6 | 20.9 | 5.3 | 6.8 | 0.80 |
| | b | 27.5 | 22.4 | 12.3 | 11.8 | 0.82 |
| | c | 26.8 | 27.7 | 9.9 | 11.1 | 0.93 |
| | d | 30.2 | 33.6 | 12.8 | 10.6 | 0.89 |

表 2 检测误差及睁开程度

| 实验组别 | 检测误差 | 睁开程度/% | |
|-------|------|---------|-----|
| 第 1 组 | a | 0.075 1 | 100 |
| | b | 0.054 2 | 76 |
| | c | 0.088 5 | 53 |
| | d | 0.076 2 | 25 |
| 第 2 组 | a | 0.093 5 | 96 |
| | b | 0.076 8 | 92 |
| | c | 0.066 7 | 60 |
| | d | 0.094 6 | 14 |
| 第 3 组 | a | 0.056 8 | 99 |
| | b | 0.068 7 | 82 |
| | c | 0.089 6 | 51 |
| | d | 0.013 2 | 5 |

表 2 列出了图 7 中眼睛的睁开程度,根据眼睛睁开程度百分比可以判断出眼睛的状态,定义 $p > 70\%$ 为眼睛全睁状态; $30\% < p < 70\%$ 为眼睛半睁状态; $p < 30\%$ 为眼睛闭合状态。

表 3 给出了检测图 1 眼睛的时间比较,可以看出本文算法运算时间除比灰度投影法稍长外,比其他算法耗时都少,但灰度投影法对头部姿态要求很高,两眼睛必须在同一水平线上,因此本文算法具有很大的优越性。

表 3 各方法运算时间比较

| 方法 | 运算时间/s | 特点 |
|-------|--------|---------------|
| 边缘提取法 | 0.354 | 计算量较大 |
| 区域分割法 | 0.188 | 定位效果较差 |
| 灰度投影法 | 0.069 | 运算速度快,头部姿态影响大 |
| 模板匹配 | 0.275 | 计算量较大 |
| 本文方法 | 0.082 | 运算速度快,头部姿态无影响 |

6 结 论

笔者提出了基于颜色信息的人眼精确定位方法,该方法首先检测出彩色图像中的人脸位置;然后在人脸区域内,映射出人眼候选区域,采用平均复杂度方法定位出眼睛区域,并采用相似度计算检验眼睛定位正确与否;最后在眼睛区域内,精确定位眼白、虹膜,通过计算眼睛面积分析眼睛睁开程度。该方法具有以下优点:1)无需预处理,计算量小,检测速度快;2)对姿态不敏感,头部可旋转任意角度。3)眼睛状态检测简便准确。实验结果表明,该算法能精确检测出眼睛并能快速判断出眼睛的状态。

参考文献:

- [1] 施成湘,杨丹,查振家,等. 基于特征散度的模糊彩色图像分割算法[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2007,30(1):89-92.
SHI CHENG-XIANG, YANG DAN, ZHA ZHEN-JIA, et al. Segmentation of color image based on feature divergence and fuzzy theory[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition, 2007, 30(1): 89-92.
- [2] 李粉兰,徐可欣. 一种应用于人脸正面图像的眼睛自动定位算法[J]. 光学精密工程,2006,14(2):320-326.
LI FEN-LAN, XU KE-XIN. An algorithm applied in frontal-view face images for automatically localizing eyes [J]. Optics and Precision Engineering, 2006, 14(2): 320-326.
- [3] SONG J T, CHI Z R, LIU J L. A robust eye detection method using combined binary edge and intensity information[J]. Pattern Recognition, 2006, 39(6): 1110-1125.
- [4] 张强劲,杨丹,张小洪,等. 基于多尺度模糊逻辑的小波边缘检测方法[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2005,28(10):62-65.
ZHANG QIANG-JIN, YANG DAN, ZHANG XIAO-HONG, et al. Wavelet edge detection method based-on multi-scale fuzzy logic [J]. Journal of Chongqing

- University; Natural Science Edition, 2005, 28 (10): 62-65.
- [5] ZHANG G Y, CHENG B, FENG R J, et al. A real-time adaptive learning method for driver eye detection [C/OL] // 2008 Digital Image Computing: Techniques and Applications, Decemner 1-3, 2008, [2008-08-26]. http://ieeexplore.ieee.org/search/srchabstract.jsp?tp=&arnumber=4700035&queryText=3DReal-time+Driver+Eye+Detection+Method%26openedRefinements%3D*%26searchField%3DSearch+All.
- [6] 冯建强, 刘文波, 于盛林. 基于灰度积分投影的人眼定位[J]. 计算机仿真, 2005, 22(4): 75-76.
FENG JIAN-QIANG, LIU WEN-BO, YU SHENG-LIN. Eyes location based on gray-level integration projection [J]. Computer Simulation, 2005, 22 (4): 75-76.
- [7] 史慧荣, 张学帅, 梁彦, 等. 一种基于模糊分类的模板匹配眼睛定位方法[J]. 西北工业大学学报, 2005, 23(1): 55-59.
SHI HUI-RONG, ZHANG XUE-SHUAI, LIANG YAN, et al. A faster and more sccurate template matching eye location method based on fuzzy classification[J]. Journal of Northwester Polytechnical University, 2005, 23(1): 55-59.
- [8] WAN MOHD KHAIRO SFAIZAL W M K, NOR'AINI A J. Eyes detection in facial images using circular hough transform [J]. Signal Processing & Its Applications, 2009, 6/8: 238-242.
- [9] HORNG W B, CHEN C Y. A real-time driver fatigue detection system based on eye tracking and dynamic template matching[J]. Tamkang Journal of Science and Engineering, 2008, 11(1): 65-72.
- [10] KIM H, KIM W. Eye detection in facial images using zernike moments with SVM[J]. ETRI Journal, 2008, 30(2): 335-337.
- [11] 杨秋芬, 桂卫华, 胡豁生, 等. 基于 ICA 和 HMM 的疲劳驾驶眼部状态识别算法[J]. 计算机工程与应用, 2008, 44(27): 5-7.
- YANG QIU-FEN, GUI WEI-HUA, HU HUO-SHENG, et al. Eyes' states recognition algorithm for fatigue driving based on ICA and HMM[J]. Computer Engineering and Applications, 2008, 44 (27): 5-7.
- [12] 孙兴华, 陈国勇, 赵春霞. 基于 Hough 变换和梯度信息的人眼视线方向估计[J]. 小型微型计算机系统, 2007, 28(26): 1123-1128.
SUN XING-HUA, CHEN GUO-YONG, ZHAO CHUN-XIA. Gaze estimation of human eye based on hough transform and gradient information[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2007, 28 (26): 1123-1128.
- [13] CHAU M, BETKE M. Real time eye tracking and blink detection with USB cameras [R]. Boston University Computer Science Technical Report, 2005.
- [14] 曹菊英, 赵跃龙. 基于水平投影和 Hough 查找圆法的人眼状态识别研究[J]. 科学技术与工程, 2007(9): 1969-1971.
CAO JU-YING, ZHAO YUE-LONG. Eye state recognition based on horizontal projection and Hough found the circle [J]. Science Technology and Engineering, 2007(9): 1969-1971.
- [15] SHAN S, CAO B, GAO W, et al. Extended fisher face for face recognition from a single example image per person[J]. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2002, 2: 81-84.
- [16] WANG Z, BOVIK A C, SHEIKH H R, et al. Conrad Bovik. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600-612.
- [17] JESORSKY O, KIRCHBERG K J, FRISCHHOLZ R W. Robust face detection using the Hausdorff distance [M] // BIGUNAND J, SMERALDI F. Audio and video based person authentication: lecture notes in computer science. Berlin: Springer-Verlag, 2001: 90-95.

(编辑 张 苹)