

# 一种有效的用于疲劳驾驶检测的人眼定位算法

胡德轩,冯玉田,宁萍强

(上海大学 通信与信息工程学院,上海 200072)

**摘要:**对疲劳驾驶检测系统来说,人眼定位对眼睛状态的正确判别起着关键作用。文中提出一种灰度图像中改进型眼睛定位算法。首先采用水平和垂直积分投影法大致定位出双眼窗口,然后综合运用动态阈值的模板卷积法和形态学操作来定位眼部黑块。随后通过黑斑验证,精确定位出眼球中心。实验图片全部取自 CAS-PEAL 和 ORL 双人脸数据库,结果表明该算法速度快,准确率高,稳定性强,对一定程度的头部旋转和戴眼镜等情况有较强的适应性,能应用于疲劳驾驶检测等需要快速定位人眼的场合。

**关键词:**眼睛定位;双向积分投影;动态阈值;模板卷积

**中图分类号:**TP301.6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2009)12-0009-04

## An Effective Eye Location Method for Drowsy Driving Detection

HU De-xuan, FENG Yu-tian, NING Ping-qiang

(School of Communication and Info. Eng., Shanghai Univ., Shanghai 200072, China)

**Abstract:** For a driver fatigue monitoring system, one of the most important problems to solve is eye location. Present an improved approach to achieve fast and effective eye location. Firstly, horizontal and vertical integral projection is used to detect eye area. Then, dynamic threshold of binary-conversion of convolution template and morphological operations is used comprehensively to locate black area of eyes. After checking its validity, eye center can be located accurately. Experiment pictures conducted on CAS-PEAL and ORL faces show that this algorithm is time-saving and robust to a lot of complicated situation such as head rotation with a certain degree and face with glasses. This method can be used in occasions like driver fatigue monitoring system or any other occasions that need fast eye location.

**Key words:** eye location; bidirectional integral projection; dynamic threshold; convolution template

### 0 引言

在全球范围内,司机的疲劳驾驶已成为导致交通安全事故的重要原因之一。根据美国国家公路交通安全署的统计,在公路上,每年由于司机在驾驶过程中进入睡眠状态而导致大约10万起交通事故,其中有1500起直接导致死亡,7.1万起导致人身伤害。新浪网做过一个关于疲劳驾驶的调查。结果显示,在2948名参与调查的网友中,有89.86%的人有过疲劳驾驶经历;79.85%的人在开车2~4小时后就会感到疲劳。因此如何防范疲劳驾驶已成为当前热点问题。研究发现,眼睛状态与疲劳状态有较高的相关性,能可靠的反映是否疲劳;眼睛定位又是状态判别的前提,故眼睛定位问题已成为实现疲劳驾驶监控的关键。

目前,人们已提出了一些眼睛定位算法,比较有代表性的包括:可变形模板法<sup>[1]</sup>、Hough变换检测法<sup>[2]</sup>、Adaboost算法<sup>[3]</sup>、灰度投影法<sup>[4]</sup>等。其中可变形模板是一个描述眼睛轮廓的强有力的模型。它利用了图像的全局信息,提高了定位特征轮廓的可靠性。但该算法的缺点是对初始值依赖程度较高、收敛速度慢及陷入局部最小等。而基于检测圆形或椭圆形的Hough变换法,往往由于参数过多、计算量过大而难以实用。Adaboost法是一种基于学习的算法,它以提取的特征作为分类器的输入量,以Adaboost作为训练算法,组成层叠式的分类器来对目标进行检测分类。此法虽然准确率较高但由于训练和层叠的设置,使得计算量很大。灰度投影法是对脸部图像进行水平和垂直的灰度投影,而后仅通过波峰波谷信息来定位人眼,该方法定位精度较低,对不同人脸和姿态变化非常敏感,易陷入局部最小,从而导致定位失败。其他一些算法诸如遗传算法<sup>[5]</sup>,其定位的准确性与其所选用的训练集有较大关系,且对与眼睛相似物体的辨识力不足。而对称法<sup>[6]</sup>则由于对眼球边缘的梯度向量变化敏感,常不能

收稿日期:2009-03-18;修回日期:2009-06-18

基金项目:上海市重点学科建设项目(T0102)

作者简介:胡德轩(1984-),男,江西南昌人,硕士研究生,研究方向为计算机图像处理、模式识别;冯玉田,副教授,研究方向为信号与信息处理。

有效定位。

文中提出了一种鲁棒的、准确快速的眼睛定位算法,该算法能有效区分眼眉,对一定程度的头部偏转、平移不敏感,能满足疲劳驾驶监测领域的实时性和准确性的要求。

## 1 眼睛定位的流程

对已知的人脸图像定位,通常要经过以下几个步骤:图像预处理、人眼粗定位、精定位、经过验证后确定眼球中心,算法流程如图 1 所示(实验采用 ORL 及 CAS-PEAL 人脸库<sup>[7]</sup>)。

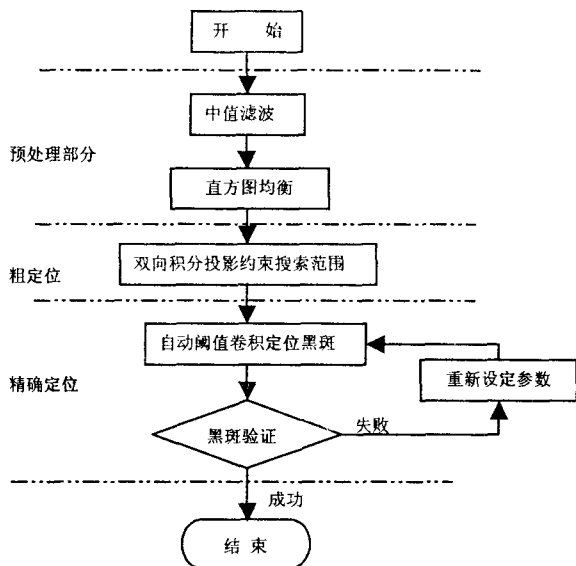


图 1 算法流程图

## 2 图像预处理

在定位之前,往往要对图像进行一系列的预处理工作。这是因为图像在产生和传输过程中,不可避免的会混入噪声,它们无疑会对后续的定位过程产生极大干扰,必须在正式定位之前对其消除。这里采用常见的中值滤波和直方图均衡的办法来处理。中值滤波是一种典型的低通滤波器,它能够在保护图像边缘的同时去除噪声分量,平滑图片。直方图均衡是通过拉大灰度间隔,从而增大反差,使图像细节清晰,达到增强图像的目的。预处理后的图像利于分析和识别,为后续定位打下了良好的基础。

## 3 眼睛定位算法

这里主要包括了粗定位和精定位两步,其中粗定位采用双向积分投影法(水平和垂直方向),目的是极大程度地约束眼睛的搜索范围。精定位综合采用了动态阈值的卷积法和形态学操作,目的是定位眼部黑块,

最后再通过黑斑椭圆的验证,精确标出眼球中心。

### 3.1 双眼的粗定位

眼睛区域的灰度特征与人脸其他部位有明显不同,虹膜、瞳孔等部位的灰度值比临近区域灰度值要低许多<sup>[8]</sup>,采用双向灰度投影法(水平和垂直灰度投影)可以很容易得到眼睛的大致位置,极大程度地简化了后续搜索。

在眼眉区域,经水平灰度投影后,出现了两个波谷,谷底位置自下而上依次代表眼睛区域和眉毛区域的投影中心。

由于眼睛的位置一般在人脸的中上部分,利用此先验知识可在图像的  $1/3 \sim 1/2$  高度(以图像的左上角为原点)范围内进行水平积分投影,并从下向上搜索第一个波谷点,以此纵坐标再分别向下和向上各扩展几个像素,框选出一块包含眼睛的区域。

同理,人脸皮肤的灰度值与周围不同(如头发区域),故在脸部的左右边界处,灰度值的总和会迅速减小,从而使垂直投影曲线在两端迅速下降。因而,只要分别定位两端的最低点,则可得到人脸的左右边界。

通过以上的双向积分投影法,可粗略定位出眼睛区域,并可去除眉毛的干扰,很大程度上方便了后续的精确定位,图 2 为粗定位的结果。



图 2 粗定位效果图

### 3.2 双眼的精确定位

基于眼部的特殊灰度性,若选用一个合适的模板,对图像(这里指上步框选范围内的图像,下同)卷积,可以起到突出眼睛的效果。文献[9]采用了自定义卷积模板来定位眼睛,但笔者在实验过程中发现其阈值(指二值化阈值,下同)很难恰当选择,一旦不合适,常常无法区分眼眉,导致定位失败。经过大量的实验与分析,笔者发现,如图 3 所示,随着阈值的变化,双眼黑块会经历从无到有,从最准确到逐渐有偏差的过程,而其它部位的变化则不明显。这样在某个阈值时,首先出现的双眼黑块(图 3 中当  $k = 0.61$  时)是最准确的,该处的阈值也为最佳阈值。

对此,文中提出了如下改进的动态阈值算法。

首先是选择卷积模板,根据眼部图像尺寸,选用图 4 所示的模板,该模板为  $7 \times 7$  矩阵,中间设为  $-2$ ,近似

为眼球形状。然后将模板与粗定位后的眼部图像进行卷积,卷积运算可以突出黑眼球区域。

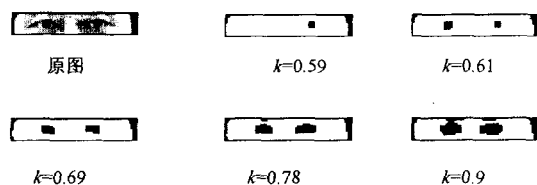


图 3 阈值系数  $k$  变化导致的图像变化

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -2 & -2 & -2 & 1 & 0 \\ 1 & -2 & -2 & -2 & -2 & -2 & 1 \\ 0 & 1 & -2 & -2 & -2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -2 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

图 4 卷积模板

接下来采用一定阈值对图像进行二值化处理,利用形态学的操作,排除非人眼的黑块,提取最可能的眼睛黑块。

其中,阈值 = 卷积后的灰度平均值  $\times$  系数  $k$ 。对一幅图像来说,求取最佳阈值的过程即求取最佳系数  $k$  的过程。对于不同图像,存在不同的最佳阈值系数  $k$ 。通过对多幅实验图分析与统计发现,只要脸部光照适中,双眼部位较清晰,绝大多数情况下,最佳阈值系数位于  $0.04 \sim 1.5$  之间。具体可根据以下步骤求  $k$ :

1) 选择一个合适的步长,例如可从  $k = 0.04$  依步长  $0.02$  开始搜索,以每一新的阈值  $k$  二值化卷积后的图像。

2) 对图像进行形态学的膨胀和腐蚀,去除细小干扰区域。

3) 在图像周边设定若干像素的容差,目的是除去图像周边残存的鬓发黑块(如图 5 中的边缘部分)。剔除所有的干扰黑块后,如若还剩下两个黑块,即认为是双眼黑块;若没有,则依据步长,改变  $k$  直到有为止。

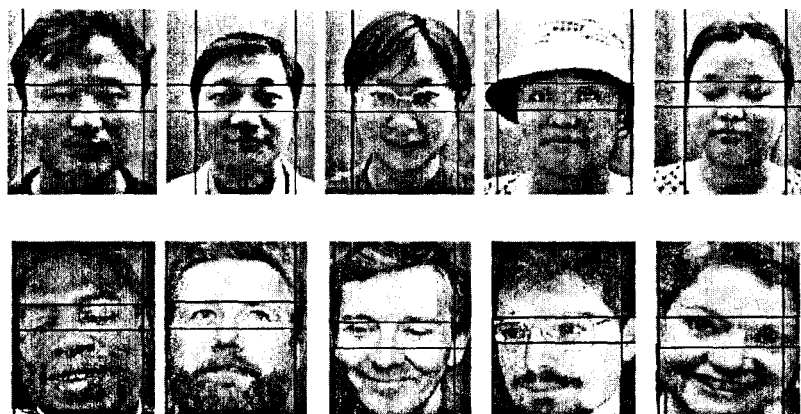


图 5 最终定位效果图

### 3.3 黑斑椭圆的验证

人的双眼在二值化图像中表现出形状类似椭圆的黑斑<sup>[10]</sup>。故为了验证人眼,可以重点研究黑斑的椭圆性质。所谓黑斑椭圆性质是指按照黑斑的面积和二阶矩计算出的椭圆参数,包括椭圆的面积、质心、长短轴的长度和方向角(椭圆长轴与水平方向的夹角),因此该黑斑越接近椭圆,测量的结果就越准确。当黑斑不是椭圆时,计算的误差随着黑斑形状偏离椭圆的程度变大而变大。

为了描述黑斑形状偏离椭圆的程度,可以定义椭圆的硬度值:

$$\lambda = \frac{\pi \times \text{Maxlength} \times \text{Minlength}}{A}$$

其中,Maxlength 是椭圆长轴长度,Minlength 是椭圆短轴长度,而  $A$  是黑斑的面积。

经过实验的大量测试,发现眼睛黑块近似为圆形,硬度值一般小于 15,可依此作为判据。黑斑验证成功后,标出黑斑中心,即眼睛中心。若失败则重新设定阈值  $k$  的初终值,并缩小步进,重新定位。图 5 为定位效果,从图中可看出该算法均能准确定位。

## 4 实验结果

文中实验采用双数据库,分别是 CAS-PEAL 人脸数据库和 ORL 人脸数据库。其中前者是由中科院计算技术研究所创建并部分共享的中国人脸图像数据库,这里采用了 200 张图片作为测试;后者由剑桥大学 AT&T 实验室创建,包含 40 人共 400 张面部图像,部分图像包括了姿态、表情等变化,这里随机选取了其中 150 张作为测试。为了准确评估算法的可靠性和准确性,所选图片包括了各种背景、表情、姿态、不同种人、配饰等情况。

采用较为常见的 Jesorsky 等人的眼睛定位正确性度量标准<sup>[11]</sup>。设手工标定的左右眼睛的准确位置分别为  $E_L$  和  $E_R$ ,算法检测到的左右眼睛位置分别为  $E_L'$  和  $E_R'$ ;  $d_l$ ,  $d_r$  和  $d_{lr}$  分别为  $E_L - E_L'$ ,  $E_R - E_R'$  和  $E_L - E_R$  的距离,即检验的相对误差定义为:

$$\text{err} = \frac{\max(d_l, d_r)}{d_{lr}}$$

一般来讲,  $d_{lr}$  约为眼睛宽度的两倍。如  $\text{err} < 0.25$ ,则认为检验结果是正确的,否则错误。

人眼位置用“+”标注。在处理器为 Pentium Dual Core 1.6GHz,内存 1G 字节,使用 matlab7.0 的测试条件下,

表 1 显示了实验结果,可以看出眼睛定位的正确率均在 96% 以上,误检率是达到了 3% 以下,这都充分体现了算法的高精确性。在定位时间方面,CAS-PEAL 库和 ORL 库均表现良好,能满足实时性的要求,其中 CAS-PEAL 库的定位时间少于 ORL 库,因为算法中的阈值设置(如投影后上下扩展的像素值),都是针对亚洲人的标准,所以定位时间稍快些。

表 1 实验结果

	眼部框选正确率	眼睛定位正确率	眼睛误检率	平均定位时间
CAS-PEAL 库	99%	97%	1%	0.0416s
ORL 库	98%	95.33%	2.67%	0.0938s

### 5 结束语

文中采用了双向投影和动态阈值卷积的定位算法,其中双向投影法由于其固有的缺点,文中不直接用于定位眼睛,而作为框选双眼范围的粗定位。这样既避免了其对姿态变化敏感等缺点,又提高了粗定位准确性。动态阈值卷积法用于快速定位眼睛黑块,它能在保证定位准确度的情况下,动态求取最小阈值,极大地提高了算法的可靠性和鲁棒性。

实验表明,该算法速度快,准确率高,适应性强,对不同的人,不同的光照变化,一定程度的头部、脸部旋转,及睁闭眼和戴眼镜等情况均有较好的定位效果。但算法也存在一定局限性,如当头发部分遮住眼睛,头部旋转角度过大,眉眼间距过短及戴墨镜等情况,会对算法造成影响,导致定位出错,这有待于今后作进一步的研究。总体上讲,该文的算法对图像要求不高,且实时性强,易于实现,因而在疲劳驾驶监控等领域有较好的应用价值。

#### 参考文献:

[1] Yuille A, Cohen D, Hallinan P. Feature extraction from faces

using deformable templates[J]. International Journal of Computer Vision, 1992, 8(2):100-104.

[2] Kawaguchi T, Hidaka D, Rizon M. Detection of eyes from human faces by hough transform and separability filter[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Vancouver BC: IEEE Computer Society, 2000:49-52.

[3] Ma Yong, Ding Xiaoqing, Wang Zhengeng, et al. Robust precise eye location under probabilistic framework[C]//the Sixth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition. Seoul: [s. n.], 2004:339-344.

[4] 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):1394-1400.

[5] Liu X, Xu F, Fujimura K. Real-time eye detection and tracking for driver observation under various light condition[C]//IEEE Intelligent Vehicle Symposium. Versailles, France: [s. n.], 2001:18-20.

[6] Reisfe-ld D, Yeshurun Y. Robust Detection of Facial Features by Generalized Symmetry[C]//Pattern Recognition, 1992. Vol. I. Conference A: Computer Vision and Applications, Proceedings. 11th IAPR International Conference. The Hague, Netherlands: [s. n.], 1992:117-120.

[7] Gao Wen, Cao Bo, Shan Shiguang, et al. The CAS-PEAL Large-Scale Chinese Face Database and Baseline Evaluations[J]. IEEE Trans. on System Man, and Cybernetics (Part A), 2008,38(1):149-161.

[8] 孙晓玲,侯德文,储凡静.人脸识别中的眼睛定位方法[J].计算机技术与发展,2008,18(10):46-49.

[9] 江水郎,杨明.面向驾驶员疲劳检测的双空间人眼定位方法[J].计算机工程,2008,34(24):180-182.

[10] Haralick, Shapiro. Computer and Robot[M]. [s. l.]: Addison-Wesley, 1992:59-83, 639-658.

[11] Jesorsky O, Kirchberg K J. Robust face detection using the Hausdorff distance[M]//In: Bigunand J, Smeraldi F. Audio and Video-based Person Authentication. Lecture Notes in Computer Science. Berlin: Springer-Verlag, 2001:90-95.

(上接第 8 页)

#### 参考文献:

[1] Ning Pang, Michael T, Kumar S V. 数据挖掘导论[M]. 范明, 范宏建, 等译. 北京:人民邮电出版社, 2006:105-116.

[2] 李水根. 分形[M]. 北京:高等教育出版社, 2004:80-99, 115-138.

[3] Traina Jr c, Traina A. Fast fetures selection using fractal dimension[C]//Proc of XV Brazilian Database Symposium on Database. Berlin: Springer, 2000:158-171.

[4] 鲍玉斌,王琢,孙怀良,等.一种基于分形维的快速属性

选择算法[J]. 东北大学学报, 2003, 24(6):527-530.

[5] 郭平,陈其鑫,王燕霞.基于分形维数的属性约减[J].计算机科学,2007,34(9):189-190.

[6] 闫光辉,李怀战.两阶段无监督顺序前向分形属性规约算法[J].计算机研究与发展,2008,45(11):1955-1964.

[7] 贾丽会,张修如.分形理论及在信号处理中的应用[J].计算机技术与发展,2007,17(9):203-205.

[8] Han Jiawei, Kamber M. 数据挖掘概念与技术[M]. 范明, 孟小峰, 等译. 北京:机械工业出版社, 2005:122-136, 180-192.