

# Implementation of Fatigue Detection Algorithm Based on Geometric Features\*

Jingdan Wang, Chuanhua Jiang, Zongbo Hao

School of Computer Science & Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu  
Email: wjd719@yeah.net

Received: Oct. 21<sup>st</sup>, 2012; revised: Nov. 16<sup>th</sup>, 2012; accepted: Nov. 25<sup>th</sup>, 2012

**Abstract:** The Adaboost algorithm based on the face of the classifier can accurately detect and positioning face, then through trying three methods to locate the human eye, such as Frame Difference and geometric feature method, extracting human eye image to obtain the binary image of eye by gray processing, gauss smooth, adaptive threshold. Finally, the algorithm will further accurately judge the driver is in a state of fatigue through the analysis of eyes' feature. The experimental results show that the method of Geometric Feature has anti-jamming effect in positioning the human eye, and the eyes feature significantly can ensure Robustness and real-time.

**Keywords:** Image Pre-Processing; Classifier; Geometric Features; Fatigue State

## 基于几何特征的疲劳检测算法研究与实现\*

王景丹, 江春华, 郝宗波

电子科技大学计算机科学与工程学院, 成都  
Email: wjd719@yeah.net

收稿日期: 2012年10月21日; 修回日期: 2012年11月16日; 录用日期: 2012年11月25日

**摘要:** 采用基于人脸分类器的 Adaboost 算法可以准确检测并定位人脸, 然后通过尝试帧差法及几何特征法来定位人眼, 提取人眼图像, 进行灰度化、高斯平滑、自适应阈值等预处理, 最终获取人眼二值化图像, 进一步精确到眼睛部位, 分析眼睛的状态特征, 判定驾驶员是否处于疲劳状态。实验结果表明几何特征定位人眼的方法有抗干扰的效果, 眼睛特征表现明显, 鲁棒性好, 同时也能够保证实时性。

**关键词:** 图像预处理; 分类器; 几何特征; 疲劳状态

### 1. 引言

疲劳检测算法是模式识别和机器视觉领域的前沿课题, 由于驾驶人员在驾驶过程中需要高度集中、时刻关注路况信息, 长时间驾驶必然导致精力不足、疲劳懈怠, 如何实时地、智能地避免疲劳驾驶、消除车祸隐患是相关部门亟需解决的问题, 一种实时的、能够准确判断疲劳状态的、不妨碍驾驶的疲劳检测系统成为国内外研究者的研究方向。早期研究阶段采用

车载心电图<sup>[1]</sup>、脑电图<sup>[2]</sup>等方法协助监控驾驶员, 但这种方法较为滞后、所需设备复杂、易干扰驾驶员正常驾驶。已知人在疲劳时眼睛将会发生明显的变化: 精力充沛时, 眼睛睁开; 进入轻度疲劳时, 眼睛睁开变小; 疲劳以至于睡眠时, 眼睛经常出现完全合上的状况<sup>[3]</sup>。这些特征是可以被检测的, 目前常见的疲劳检测算法都是针对视频文件进行图像处理 and 模式识别, 提取人物面部信息、眼睛信息, 判断驾驶员的行为状态, 并针对疲劳驾驶行为发出报警信号。疲劳检测最重要的环节是人脸识别和眼睛特征提取, 人脸识

\*资助信息: 四川省成都市铁路局远程视频监控系统升级与再研发(1); 远程视频监控系统后续完善(2)。

别的常用算法是 Adaboost 算法、几何特征算法与肤色分割算法<sup>[4,5]</sup>, Adaboost 算法是采集大量人脸样本, 训练人脸分类器, 从而实现智能检测定位人脸的算法, 样本越多、差异性越大, 鲁棒性越好, 准确率越高; 几何特征算法是通过椭圆提炼和拟合人脸来定位到人脸区域, 能够较好地定位人脸区域, 但不适合人脸偏转情况; 肤色分割算法是利用人脸肤色的聚类性来检测出人脸区域, 但会受到毛发等干扰因素。眼睛定位常使用积分投影法<sup>[6]</sup>、连通域法, 积分投影法是利用水平和垂直灰度积分投影曲线结合人脸的结构特征找到眼睛位置坐标, 此法能准确定位眼睛位置, 但不能得到眼睛区域范围, 即无法判断眼睛睁闭状态; 连通域法是通过二值图像的扫描和分析得到连通域划分, 继而判定眼睛区域范围, 此法眼睛闭合状态不易检测, 毛发干扰性较大, 可作为疲劳检测的辅助手段。其中肤色分割算法和积分投影法常结合使用, 适用于光线环境稳定、人物静止的条件下, 不能应用于光线变化剧烈的环境中, 本文的研究背景是光线变化剧烈的高速高路以及火车线路, 因此要尽力消除变化剧烈的光线影响, 本文提出的改进算法是首先利用对光照不敏感的 Adaboost 算法实现人脸检测及定位, 然后采用帧差法和几何特征判定法相结合的方式定位人眼, 再通过聚类方法精确判断人眼的睁闭状态。该算法流程如图 1 所示。

## 2. 人脸检测

目前, 国内外研究表明人脸定位及跟踪算法已经

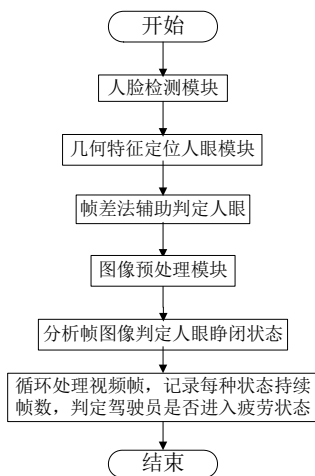


Figure 1. Fatigue detection algorithm module  
图 1. 疲劳检测算法模块图

很成熟, 常见的算法有肤色分割算法、Adaboost 算法, 其中肤色分割算法是利用肤色的聚类性来确定人脸肤色区域, 它没有使用特殊的脸部特征, 因此允许被跟踪对象自由活动, 并且头部方向和姿态的变化不会影响对于肤色区域的确定<sup>[7]</sup>。但是由于光源的颜色以及光照的角度不同所造成的高亮和阴影等诸多因素的影响, 利用颜色分割人脸仍然是一个非常困难的问题。

驾驶员进行疲劳状态检测时, 由于车辆高速运行会引起周围环境明暗度的迅速变化, 不适合采用肤色分割法, 为了能够在这种特殊环境下精确定位人脸, 可采用基于人脸分类器的 Adaboost 算法进行人脸的检测与定位。其基本思想是通过采集大量的样本, 利用多个分类能力一般的弱分类器通过一定的方法叠加起来构成一个分类能力很强的强分类器, 再将若干个强分类器串联成为级联分类器, 由训练和检测两部分完成视频图像中的人脸检测与定位<sup>[3]</sup>。

人脸检测算法的具体实现是: 首先对图像进行灰度化、直方图均衡化等预处理, 然后加载已经训练好的人脸分类器, 就能自动检测出目标对象, 最后将只含人脸的图像单独保存。因为基于 AdaBoost 算法的人脸识别已经很成熟, 本文直接使用 opencv 实现的结果定位人脸。

## 3. 人眼定位

从简单的阈值法、模板匹配<sup>[8]</sup>到神经网络、弹性模板匹配、遗传算法等都被相关研究者尝试性的用于人眼定位。目前比较常用的人眼检测方法有: 灰度积分投影法<sup>[9]</sup>、Hough 变换方法、可变形模板及对称变换法等。它们各有优劣, 适用环境总是有所局限, 比如基于 Haar 分类器的人眼检测算法的结果常常包含眉毛、头发等干扰因素; 利用连通域法定位眼睛的结果很不稳定, 表现为前一帧得到一只眼睛, 后一帧也许就是两只眼睛; 灰度积分投影法在光线过暗时不能精确定位到人眼。本文研究重点是避免环境光照明暗变化因素带来的干扰, 据此本文将采用帧差法和几何特征法<sup>[10]</sup>相结合的方式精确定位到人眼, 并准确判断出人眼的睁闭状态。

### 3.1. 帧差法

帧差法主要针对于帧图像中背景静止, 目标对象

静止或者移动较为缓慢的情况<sup>[11]</sup>。众所周知，大多数人在精神状态良好下会不断眨眼，而在疲劳状态下闭眼时间明显大于正常状态的眨眼闭合时间，同时，当背景及人脸静止时只有眼珠处于活动状态<sup>[11]</sup>，同时驾驶室背景图像均为静止状态，故帧差法可用于来判断驾驶员是否处于疲劳状态。

帧差法的具体实现方法是：连续两帧求差  $diff$ ，当  $diff$  为 0 时，表示眼睛连续处于静止状态，包含两种情况：1) 持续睁开；2) 持续闭合；当  $diff$  不为 0 时，表示眼睛处于眨眼状态。

定义一个帧数组，维数为  $n$ ，记录连续  $n$  个帧，存储其睁眼、闭眼状态，如果连续  $M$  ( $M$  为疲劳阈值帧数) 个帧为闭眼状态，则表示驾驶人员开始进入疲劳状态，帧数组如图 2 所示。

利用帧差法处理人脸图像时，一般设置第一帧为睁眼状态。此外，为了提高算法的实时性，可采用跳帧法，即取第 1 帧后，接着直接取第 6 帧进行处理。跳帧法的缺点是如果被跳过去的帧出现与期望相悖的状态，可能会延迟疲劳状态的判定。

### 3.2. 几何特征判定法

几何特征判定法就是利用人脸器官的几何分布来定位人眼，对获取的人眼图像进行预处理，最终得到人眼二值图像，分析二值图像特征，计算瞳孔面积<sup>[12]</sup>。几何特征判定法主要适用于正脸及微侧脸的状态。

已知的先验知识有：1) 人脸是基本对称的椭圆区域；2) 眼睛位于人脸区域上部中轴线两侧，且位于人脸上部 3/5 位置；3) 人眼的长宽比例，两眼间距与人眼长度的关系，两眼连线的倾斜角度。

图像预处理阶段尤为重要，如果这阶段处理不好，后面的特征提取、识别根本无法展开。图像预处理过程主要包括对获取的人眼图像进行光线补偿、灰度化、高斯平滑(去噪处理)、直方图均衡化、图像对比度增强、二值化，如图 3 所示。

本文中并没有使用直方图均衡化，因为直方图均衡化的目的是归一化图像亮度和增强对比度，在二值化灰度图之前进行直方图均衡化的结果是使眉毛区域

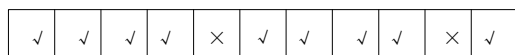


Figure 2. Frame array  
图 2. 帧数组

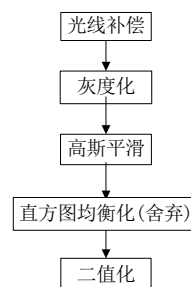


Figure 3. Image pre-processing  
图 3. 图像预处理过程

得到标记，连通域个数变得更多，从而干扰眼睛定位的因素增多，这是不可取的，故而舍弃直方图均衡化。

在睁眼状态下，由于可能会出现头发、眉毛等干扰因素，所以在进一步处理眼睛状态前进行一次聚类处理，聚类是一个将数据集划分为若干个子集，并使同一集合内的数据对象彼此相似，而集合中的数据对象具有较大的差异的过程，目前常用的聚类算法有 C 均值算法和模糊 C-均值算法(FCM)。本论文采用修正的聚类去除眼珠周围的干扰区域，对可能的眼珠区域范围进行求和，通过点与初步给定的中心之间的距离，及周围黑色像素数目来判断眼珠周围黑点是否属于眼睛，排除干扰，增强人眼检测的精确度。

## 4. 疲劳检测算法描述

### 4.1. 疲劳检测算法流程

首先通过摄像头实时读取视频，然后逐帧读取视频，然后经过人脸检测与定位、人眼检测与定位，最后通过对眼睛部位的状态来判定驾驶员是否处于疲劳状态。具体实现流程如图 4 所示，其中  $fClose$  表示持续闭眼帧数。

### 4.2. 疲劳状态判定

研究表明正常情况下人们眼睛闭合的时间在 0.2~0.3 s 之间，驾驶时若眼睛闭合时间达到 0.5 s 就容易发生交通事故。宾夕法尼亚大学智能交通实验室和 NHTSA 采用 PERCLOS(眼睛闭合时间占特定时间的百分率)作为精神生理疲劳程度的测量指标<sup>[13,14]</sup>。PERCLOS 测量的参数是在单位时间内(1 min)眼睛闭合程度超过 80% 以上的时间占总时间的百分比，它连续跟踪测量眼睑的睁闭，并且根据相应的阈值提醒可能发生的瞌睡<sup>[15]</sup>。PERCLOS 计算睁闭眼是建立在利用

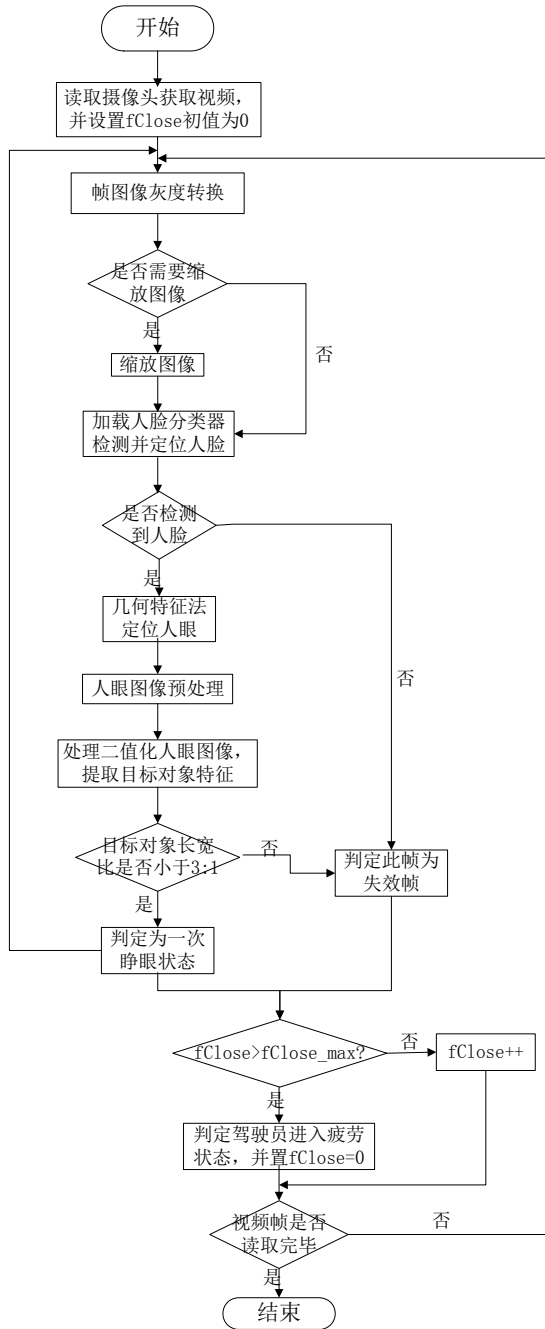


Figure 4. Fatigue detection algorithm flow chart  
图 4. 疲劳检测算法流程图

摄像头找到眼睛位置的基础上，提取出眼睛的图像，并且计算图像的高度来判断眼睛的睁闭，它属于非接触式、实时式的监测方法，使用方便，对驾驶员没有负面影响。

已知正常的人眼闭合时间是 0.17 s，而疲劳时人眼闭合时间长达 1.68 s，设置连续闭眼帧数为 fClose，初值设为 0，疲劳临界阈值设为：fClose\_max。当连

续 fClose\_max 帧为闭眼状态，即判断为疲劳，具体如表 1 所示。

fClose\_max 是在循环处理每一帧图像时动态取值的，其计算公式为：

$$fClose\_max = (\text{int})(1/\text{duration}) * 1.68 \quad (1)$$

其中，变量 duration 是处理一帧视频所需的时间(秒级)，并且是在处理每一帧时动态取值的。它的计算公式是：

$$\text{tmp} = (\text{finish} - \text{start})/\text{CLOCKS\_PER\_SEC}; \quad (2)$$

这里还需要设置"if(duration < tmp) duration = tmp;"条件判断是因为如果在 while 循环处理帧图像时检测不出眼睛，则 detect\_face 函数的执行时间就会缩短，进而导致 duration 值变小，可能出现误报警，所以需要保证 duration 为每一帧处理时间的最大值。

### 5. 疲劳检测结果分析

针对本文提出的算法在 Windows 平台下和光照平缓的实验室环境下进行了实验，首先采用 USB 摄像头获取实时视频，在实验中不断调整人物与镜头间距离，并不断偏转头，测试头部可以偏转的程度，实验证明头部偏转程度最大可呈 30°角度，眼睛的识别率达 99.8%，针对睁闭眼状态检测的准确率达 97%。实验结果数据如表 2 所示。

睁眼状态下的实验结果如图 5 所示。

闭眼状态下的实验结果如图 6 所示。

最终实验结果表明：几何特征判定法能够缩小定位眼睛范围，去除了头发、眉毛等因素的干扰，经过

Table 1. Fatigue state decision table  
表 1. 疲劳状态判定表

闭眼帧数 fclose	是否疲劳
fclose > fClose_max	深度疲劳
fClose_max-5 < fclose < fClose_max	轻度疲劳
fclose < fClose_max-5	清醒状态

Table 2. Experimental results data  
表 2. 实验结果数据表

帧数	头部偏转程度	眼睛识别率	睁闭识别率
5297	0°	100%	98%
5297	15°	99.6%	96%
5297	30°	96%	92%
5297	45°	56%	89%

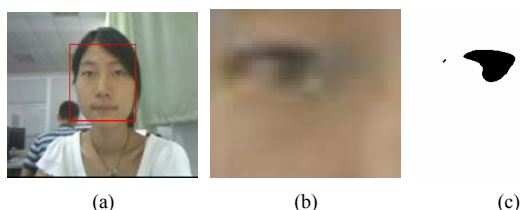


Figure 5. Eyes open situation: (a) Video frame image; (b) Eye positioned by geometric features; (c) Binary image of eye  
图 5. 睁眼情况: (a) 视频帧图像; (b) 几何特征法定位的人眼; (c) 人眼二值图

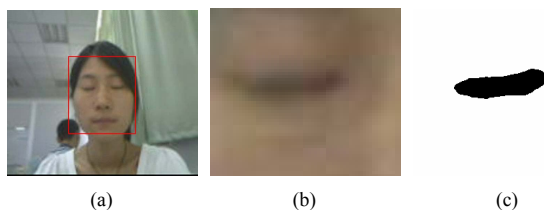


Figure 6. Eyes closed situation: (a) Video frame image; (b) Eye positioned by geometric features; (c) Binary image of eye  
图 6. 闭眼情况: (a) 视频帧图像; (b) 几何特征法定位的人眼; (c) 人眼二值图

图像预处理的二值化图像能够精确的给出眼睛的形状、位置和大小。当二值图像中目标对象表现为长方形，且长宽比大于 4:1 时，则判定此帧为闭眼状态；当二值图像中目标对象表现为圆形、椭圆形或者椭圆形上方有弧线，且长宽比远远小于 3:1 时，则判定此帧为睁眼状态。

## 6. 结束语

本文提出了一种基于几何特征的疲劳检测算法，该算法通过尝试帧差法及几何特征法来定位人眼，提取人眼图像，进行灰度化、高斯平滑、自适应阈值等预处理，最终获取人眼二值化图像，进一步精确到眼睛部位，然后通过聚类法分析眼睛的状态特征，判定驾驶员是否处于疲劳状态。实验结果表明几何特征定位人眼的方法有抗干扰的效果，眼睛特征表现明显，鲁棒性好，同时也能够保证实时性。在实际的驾驶环

境中，由于驾驶员并不能时刻处于静止状态，疲劳状态下会出现头部下垂、严重偏转情况，下一步的研究重点是实现头部偏转剧烈情况下的疲劳检测和眼睛实时跟踪，如何提高驾驶员在真实驾驶环境下疲劳检测的实时性、准确性和鲁棒性仍然是一个富有挑战性的问题。

## 参考文献 (References)

- [1] 吴群. 基于心电信号的驾驶疲劳检测方法研究[D]. 浙江大学, 2008.
- [2] 吴绍斌, 高利, 王刘安. 基于脑电信号的驾驶疲劳检测研究[J]. 北京理工大学学报, 2009, 29(12): 1072-1075.
- [3] 李洪研, 赵学敏. 基于人眼 PERCLOS 特征的列车驾驶员疲劳检测系统[J]. 技术创新, 2011, 12: 32-34.
- [4] 朱双燕. 基于肤色的人脸检测与识别方法的研究[D]. 武汉理工大学, 2007.
- [5] 范一峰, 颜志英. 基于 Adaboost 算法和肤色验证的人脸检测研究[J]. 微计算机信息, 2010, 21: 231-232.
- [6] 曹菊英. 基于积分投影的司机图像眼睛定位方法[J]. 信息技术, 2007, 31(7): 20-22.
- [7] 郭磊, 王秋光. Adaboost 人脸检测算法研究及 OpenCV 实现[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2009, 14(5): 123-126.
- [8] 袁英. 基于视觉的汽车驾驶员疲劳检测算法研究[D]. 沈阳工业大学, 2010.
- [9] J. Tang, Z. H. Fang, S. F. Hu and Y. Sun. Driver fatigue detection algorithm based on eye features. 7th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2010, 5: 2308-2311.
- [10] 高永萍, 秦华标, 余卫宇. 基于几何特征的人眼精确定位新方法[J]. 微计算机信息, 2007, 33: 199-201.
- [11] Y. Kurylyak, F. Lamonacal and G. Mirabelli. Detection of the eye blinks for human's fatigue monitoring. IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications Proceedings, 2012, 18(19): 1-4.
- [12] Y. T. Feng. A combined eye states identification method for detection of driver fatigue. IET International Communication Conference on Wireless Mobile and Computing (CCWMC 2009), 2009, 7(9): 217-220.
- [13] 苑玮琦, 袁英. 基于 PERCLOS 的眼睛张开程度检测算法研究[J]. 微计算机信息, 2010, 25: 46-48.
- [14] 郭永彩, 李文涛, 高潮. 基于 PERCLOS 的驾驶员疲劳检测算法[J]. 计算机系统应用, 2009, 8: 54-57.
- [15] L. L. Li. A method of driving fatigue detection based on eye location. IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN), 2011, 27(29): 480-484.