

一种基于 PERCLOS 驾驶员疲劳检测方法的实现算法

万玉丽,谢金法 (河南科技大学)

摘 要 PERCLOS 法能方便的对驾驶员进行实时、非接触式疲劳检测,在肤色检测的基础上结合眼睛的形状并利用梯度信息定位眼睛,通过计算眼睛的面积变化来确定眼睛的睁开、闭合状态,记录眼睛睁开闭合的次数及其开始、结束时刻,计算 PERCLOS 值,当 PERCLOS 值大于 40%,眼睛持续闭合时间大于 3 s 时,就认为驾驶员属于疲劳驾驶。

关键词 PERCLOS; 肤色分割;眼睛定位;面积计算;眼睛状态;梯度信息

One Algorithm Of Driver Fatigue Detecting Based on PERCLOS

Wan Yuli, Xie Jinfa

(Henan University of Science and Technology)

Abstract: PERCLOS can make it easier for the driver to carry out real-time, non-contact fatigue testing, this article combining with the shape of eyes and Gradient information to locate eyes on the basis of the detection of complexion, and by calculating the change in the size of the eyes to determine the state of closed or open eyes. Recording the number of opened and closed eyes and the beginning and the end moment, calculating the value of PERCLOS, when the value is greater than 40%, sustained eye closure time is greater than 3 seconds, we can think the driver is in a drowsy state, belonging to fatigue driving.

Key words: PERCLOS; complexion segmentation; eye location; area computation; eye state; gradient information

0 引言

驾驶疲劳是指驾驶车辆时,由于驾驶作业引起的身体上的变化、心理上的疲劳以及客观测定驾驶机能低落的现象。驾驶疲劳虽然是一个正常的生理现象,但是对驾驶员这一特殊的群体,就可能引起严重的后果。有关资料表明,疲劳驾驶是许多重大交通事故发生的根源^[1],因此,对驾驶员的疲劳检测研究就显得非常有必要。

驾驶员大约 90% 的信息是从视觉得到的,很多研究机构都采用了对眼睛生理特征的检测来判断驾驶员的疲劳状况。在疲劳引发事故之前,驾驶员眨眼频率会增加,眼皮覆盖眼睛的百分比也会增加。因此,通过测量眼睛闭合、眼睛运动和眼睛生理特征来检测驾驶员是否疲劳是很合适的方法。

笔者综合以往的驾驶员疲劳识别方法,从车载、实时、非接触等方面考虑,以 PERCLOS 为评价标准,采用简单有效的图像处理,研究了新颖快捷的驾驶员疲劳识别的方法。

1 PERCLOS 测评驾驶疲劳的机理和测量步骤

1.1 PERCLOS 原理

PERCLOS 是 Percentage of Eyelid Closure Over the Pupil Over Time 的缩写,即眼睛闭合时间占某一特定时间的百分率。

下面结合图 1 说明一下 PERCLOS 的测量原理,只要测出 $t_1 \sim t_4$ 的值,就可计算出 PERCLOS 的值。

公式为:

$$f = \frac{t_3 - t_2}{t_4 - t_1} \times 100\%$$

其中的 f 为眼睛闭合时间占某一特定时间的百分率,即为 PERCLOS 值。

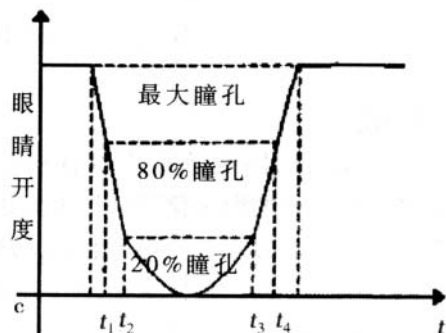


图 1 PERCLOS 的测量原理

在具体试验中有 P70、P80、EYEMEA(EM)3 种度量标准。

P70 眼睛闭合面积 70% 以上的时间百分比；

P80 眼睛闭合面积 80% 以上的时间百分比，该指标是最常用的；

EM 眼睛闭合速度百分比的均方值。

而由以前的研究可知 PERCLOS 的 P80 与驾驶疲劳程度的相关性最好，所以笔者采用 P80 的标准。

1.2 基于 PERCLOS 的驾驶员疲劳检测的步骤

驾驶员疲劳程度识别在整个系统中处于最重要的地位，主要包括图像获取、图像处理、人脸定位、眼睛定位、眼睛跟踪、眼睛状态判定、疲劳程度识别。具体工作过程：用 CCD 或 CMOS 摄像头连续采集驾驶员头部图像，由图像处理模块和一定算法完成驾驶员脸部和眼部的定位，提取眼睛特征参数，检测和跟踪眼睛的开闭运动，分析其开闭状态，在一定时间内连续统计驾驶员眼睛的开闭时间，计算 PERCLOS 值，据此判断驾驶员的疲劳程度。

2 驾驶员疲劳检测的算法实现

该算法的关键是研究如何从视频序列中准确无误的提取到眼睛的特征，进行驾驶员是否处于疲劳状态的判断。

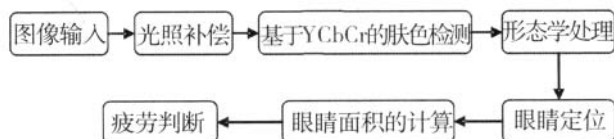


图2 算法流程

2.1 图像输入

本课题用到的驾驶员人脸图像为 24 位真彩图像，该彩色图像由 CCD 摄像头完成驾驶员人脸图像的采集，并实现模拟图像的数字化的。它装在汽车的仪表板上，距离人脸 0.5~1 m，使得每帧图像中人脸基本处于正中，并占据大部分面积。

2.2 光照补偿

由于驾驶员人脸图像是通过 CCD 摄像头完成采集并实现模拟图像的数字化的，所以，采集条件尤其是光照条件对图像的效果产生很大影响，从而影响到对彩色图像中人脸的正确检测率。所以，非常有必要在进行人脸检测之前进行光照补偿。为了解决图像光照过亮或过暗，以及阴影使人脸检测率低的问题

本文采用梁晓辉、游志胜著的自适应的彩色图像光照补偿新方法^[2]，经变换后的图像像素的亮度值表示为：

$$g(x, y) = \begin{cases} 255(1/f(x, y) - 1/nB)/(1/nE - 1/nB), & B \leq f(x, y) \leq E \\ 0, & f(x, y) < B \\ 255, & f(x, y) > E \end{cases}$$

2.3 基于 YCbCr 的肤色检测

YCbCr 空间具有色度和亮度分离的特点，而且 Cb-Cr 二维独立分布，能较好地限制肤色分布区域。而且彩色分量 Y、Cb、Cr 可由三基色 RGB 简单的线性形式表示出来，因此同时具有计算效率高的优点。所以本文采用基于 YCbCr 的肤色检测。

根据 Anil K.Jain^[3]等人的研究结果，在 Y 值较大和较小的部分，肤色聚类区域也随之缩减。所以必须考虑 Y 值的不同所造成的影响，对 YCbCr 色彩空间进行非线性分段变换^[4]。肤色的聚类区域可近似用一个椭圆表示。

$$\frac{(x-ecx)^2}{a^2} + \frac{(y-ecy)^2}{b^2} = 1$$

$$\text{其中:} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C'_b - cx \\ C'_r - cy \end{bmatrix}$$

式中， C'_b 和 C'_r 为经过非线性分段变换后的蓝色分量和红色分量 $cx=109.38$ $cy=152.02$ $\theta=2.53$ (弧度) $ecx=1.60$ $ecy=2.41$ $a=25.39$ $b=14.03$ 。

若大于 1 则为非肤色，否则为肤色。

本文采用 Matlab 来实现肤色检测^[5]，最终的检测结果为：



图3 人脸图像

对于这些独立的肤色像素点，想将它们归为一个人脸区域，很自然的想到找连通区的方法，属于同一个人脸区域的肤色像素点应该是互相连通的。以每一个肤色像素为中心的 5×5 领域内统计肤色

像素的个数,超过半数时中心点保留为肤色,否则认为是非肤色。



图4 肤色检测图

2.4 形态学图像处理

由于噪声普遍存在于数字图像中,基于 YCbCr 的肤色提取后,图像中仍然含有一些噪声(主要在背景中)。噪声的存在显然使后续的操作更为复杂。为了既能去掉噪声又能保持图像有用信息不发生变化,本文使用形态学滤波器对人脸区域进行除噪。

形态学的基本运算有膨胀、腐蚀、开启、闭合^[6]。

2.5 眼睛定位

通过上面的步骤我们很容易把脸部区域分割出来。

眼睛定位是疲劳判断的基础和前提。在此基础上的眼睛面积的计算和疲劳判断变得才准确。所以,准确定位人眼是驾驶疲劳检测的关键环节。

有关眼睛定位研究的文献很多^[7~9],人们研究各

种眼睛精确定位的方法,如神经网络、模板匹配等,它们都是先对眼睛进行粗略检测,再提取二次信息来定位双眼^[10],但它们都较少用到眼睛的形状信息。本文在肤色检测的基础上结合眼睛的形状并利用梯度信息定位眼睛,并通过计算眼睛的面积变化来确定眼睛的睁开闭合状态,较好地解决了某些算法的不足和局限,具有平移、旋转和尺度的不变性。

眼睛的定位主要是确定眼睛的垂直位置。因为在整个脸区域内眼睛区域和嘴区域灰度的变化最快。因此可以计算脸区域的垂直梯度分布,然后进行水平投影,那么在眼睛和嘴的边缘将会得到最大值。

为了使嘴部不对眼睛的定位造成影响,只在脸区域上 2/3 部分进行。

首先,计算 2/3 脸部区域图的垂直方向梯度矩阵,

$$G(i, j) = I(i+1, j) - I(i, j)$$

然后,把梯度矩阵进行水平投影 $H(j) = \sum G(i, j)$

其中 $H(j)$ 为水平投影直方图。

考虑驾驶员在驾车的过程中头有可能倾斜,因此可以把上下眼睑的位置从正负峰值处向上、下推移 2~3 个像素的距离,得到图 6 所示的眼睛分割。



图6 眼睛分割结果

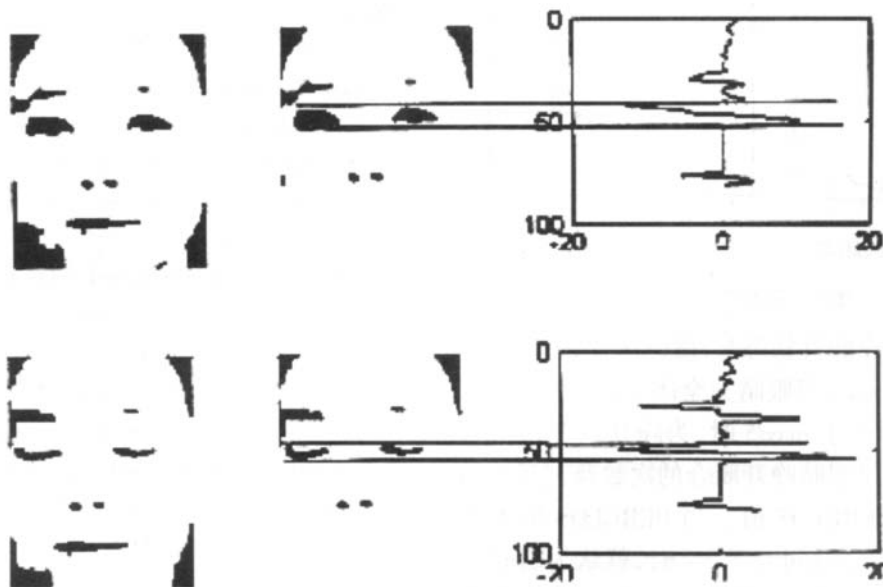


图5 脸区域垂直梯度的水平投影

2.6 眼睛面积的计算

眼睛的面积定义为图像中眼睛区域的像素的数目。一般的人眼宽度和高度之比介于 1~1.6 之间,而在一幅人脸图像中,人眼的面积大于 10,这里说的面积是指目标区域中值为 0 的像素的数目。眼睛面积与图像总面积之比大于 1/1 000,因此,人眼限制区域满足如下条件:

$1 < W/H < 1.6, A_0/AI > 0.001, A_0 > 10$ 为可能的眼睛区域。

其中 A_0 为每块区域的面积, H 和 W 分别为区域的高和宽,高是区域上、下边界点坐标值之差,宽为区域左、右边界点坐标值之差, AI 为图像总面积。将不满足上式的区域去除。若目标区域大于 2 个,说明除了眼睛之外,还有眉毛,从上到下、从左到右对目标区域进行检索,将眉毛去掉。

然后采用 4 领域算法在可能的眼睛区域中寻找最大的 2 个连通域,就认为是眼睛,眼睛睁开的程度则由 4 连通域的面积决定。这样就避免了分开左右眼的步骤,简化了算法,而且可以去掉零星的噪声,同时对眼睛的倾斜不敏感。

2.7 疲劳判断

人在睁眼时上下眼睑之间的距离较大,而闭眼时眼睑的距离几乎为零。由于睫毛等因素的干扰,利用图像处理技术得到的闭眼眼睑距离虽不为零,但仍比睁眼时小得多,如图 7。

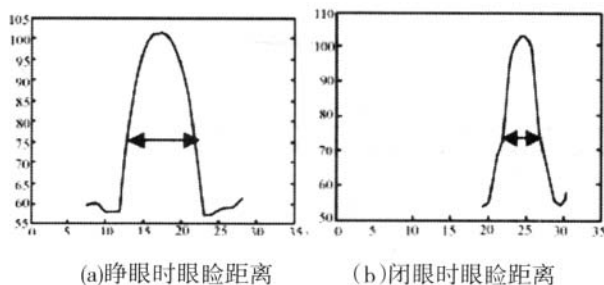


图 7 眼睑距离

眼睛处于完全睁开状态时,白色像素数最多,即面积最大,设为 \max ,当眼睛完全闭合时面积最小。规定若眼睛面积大于 $\max/5$ 时,为睁开状态,否则,为闭合状态。记录眼睛睁开闭合的次数及其开始结束时刻,计算 PERCLOS 值,当 PERCLOS 值大于 40%,眼睛持续闭合时间大于 3 s 时,就认为驾驶员处于瞌睡状态,属于疲劳驾驶。

3 结 语

本文介绍了一种驾驶员疲劳检测方法,即在肤色检测的基础上,结合人脸的形状信息定位了眼睛并计算眼睛的面积,利用 PERCLOS 的值进行疲劳判断。然而在实际中,不同体质和生活习惯的驾驶员的 PERCLOS 有很大不同,比如有些人睡觉时眼睛不闭合,所以误判率较高;车内照明条件的变化和头部的移动可导致预测不准甚至失败;当头发遮住部分眼睛和驾驶员戴墨镜时,无法识别眼部特征,进行 PERCLOS 检测。考虑以上情况,可以采用多种疲劳判别方式的综合来提高判别的准确度,例如采用头部姿势和驾驶员的手对方向盘的握力变化综合考虑。因此,为了提高疲劳检测的有效性和准确性,多种疲劳判别方式的综合判定是今后的研究方向。

参考文献:

- [1] 疲劳驾驶与交通事故[EB/OL].http://www.caronline.cn/SG/xperience/2006-3/1/2006_03_01_928.html.
- [2] 梁晓辉,游志胜.自适应的彩色图像光照补偿新方法[J].光电工程,2006,3(2):94-97.
- [3] Anil K.Jain.Face Detection in Color Images[J].IEEE TRANS PAMI,2002,5:696-706.
- [4] 邓金城.基于人脸识别技术的驾驶员疲劳检测方法研究[D].重庆:重庆大学,2005.
- [5] 飞思科技产品研发中心.MATLAB6.5 辅助图像[M].北京:电子工业出版社,2003,3:155-156.
- [6] 崔屹.图像处理与分析——数学形态学方法及应用(第二版)[M].北京:科学出版社,2002,15-42.
- [7] Lam K,Yan H.Locating and extracting the eye in human face images[J].Pattern Recognition,1996,29(5):771-779.
- [8] Xie X,Sudhakar R,Zhuang H.On improving eye feature extraction using deformable templates[J].Pattern Recognition,1994,27(6):791-799.
- [9] Deng J,Lai F.Region-based template deformation and masking for eye feature extraction and description [J].Pattern Recognition,1997,30(3):403-419.
- [10] Antonio Haro,Myron Flickner,Irfan Essa.Detecting and tracking eyes by using their physiological properties, dynamics and appearance[C].Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition,France,2000.

基金项目 河南省科技攻关项目(082102210075)