

基于 PERCLOS 的机动车驾驶员驾驶疲劳的识别算法

郑 培 宋正河 周一鸣

(中国农业大学车辆与交通工程学院)

摘 要 阐述了 PERCLOS 测评驾驶疲劳的机理, 对测试驾驶疲劳的几种方法的测试精度进行了比较, 认为 P80 是最好的。应用二维高斯模型、灰度直方图、灰度模式匹配等图像分析和识别手段定位和追踪眼睛睁开、闭合的变化过程, 统计出眼睛闭合时间。利用概率和数理统计方法给出了一种行之有效的、基于 PERCLOS 的机动车驾驶员疲劳程度测评的新算法。

关键词 PERCLOS; 驾驶疲劳; 图像识别; 灰度模式匹配; 测评算法

中图分类号 U 491. 31; TP 391. 41

PERCLOS-Based Recognition Algorithms of Motor Driver Fatigue

Zheng Pei, Song Zhenghe, Zhou Yin ing

(College of Vehicle and Traffic Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract A brief review of detecting and evaluating technique of motor driver fatigue is provided. According to the comparison between several commonly used detecting and evaluating techniques of motor driver fatigue, the P80 of PERCLOS (the proportion of time the eyes were closed at least 80 percent) is most significantly correlated with driver fatigue. A convincing case has been made that slow eyelid droop PERCLOS has the best potential to detect fatigue. A feasible method based on the mathematical model and symmetry analysis is presented to detect and locate the driver's eye in an image and the gray scale mode matching technique is used to determine the driver fatigue degree. An example for detecting the eyelid closure over the pupil over time is given. The combinations of mathematical model and symmetry analysis increases the robustness of the performance while the target is deformed. The scheme is suitable for human face location in intelligent human-machine interface and provides a groundwork to practical application of face recognition techniques. The PERCLOS-based recognition algorithms will be considered as a most effective method used to accomplish real-time measure of alertness for in-vehicle, drowsiness-detection systems.

Key words PERCLOS; driver fatigue; image recognition; gray scale mode matching; detecting and evaluating algorithms

早期对驾驶疲劳的客观测评主要从医学角度出发, 借助医用脑电图仪、心电图仪、肌电图仪测试驾驶员的脑电波形、心电波形、肌电波形, 从而确定其疲劳程度。尽管这种方法比较准

收稿日期: 2001-07-13

郑 培, 北京清华东路 17 号 中国农业大学(东校区)213 信箱, 100083

确,但测试条件苛刻,过程复杂,不易推广应用。

在过去的 10 年里,对驾驶疲劳测评技术的研究逐渐引起许多国家的普遍重视,但是,到目前为止,机动车驾驶员驾驶疲劳测评技术还未达到成熟的地步,实用的软件系统尚未推出。随着计算机应用技术的发展,驾驶疲劳测评技术必将得到很大的提高。

1 用 PERCLOS 测评驾驶疲劳的机理

PERCLOS^[1] (percentage of eyelid closure over the pupil over time)是指眼睛闭合时间占某一特定时间的百分率。

PERCLOS 能否评价驾驶疲劳呢^[2,3]?要回答这个问题,可以借鉴美国弗吉尼亚大学 Walt W ierw ille 和他的同事在驾驶模拟器上所做的实验结果(图 1)来说明。

由图 1 可见,眼睛闭合时间在事故前比在事故后要长。眼睛闭合时间的长短与疲劳程度有密切关系,驾驶员眼睛闭合时间越长,疲劳程度越严重。因此通过测量眼睛闭合时间的长短就能确定驾驶疲劳的程度。

为了更进一步说明 PERCLOS 评价驾驶疲劳的有效性,就 PERCLOS 与其他测评方法做一对比^[2],结果见表 1。

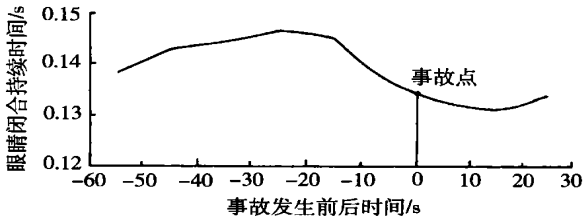


图 1 驾驶模拟器上测得的眼睛闭合时间与事故发生前后时间的关系

表 1 PERCLOS 和其他测评方法的 Pearson 相关系数

人员 编号	PERCOLS			脑电图算法(EEG)		头位置测量法(HPM)		眨眼监测法(EBM)	
	P70	P80	EM	法 1	法 2	法 1	法 2	法 1	法 2
1	0.89	0.92	0.89			0.83	0.82	0.10	
2	0.85	0.83	0.84		0.40			0.71	0.20
3	0.95	0.97	0.95			0.91	0.85	0.90	
4	0.84	0.83	0.83			- 0.54	0.20	0.54	0.77
5	0.94	0.94	0.95	0.54				- 0.10	
6	0.95	0.96	0.94	0.57	0.95			0.93	0.54
7	0.92	0.92	0.92	0.36	0.31			0.54	0.32
8	0.55	0.67	0.70	0.66	0.84			0.50	0.85
9	0.78	0.77	0.71			0.23	0.13	0.67	
10	0.95	0.97	0.95			0.87	0.65	- 0.48	
11								0.31	0.79
12								0.34	
13								0.14	
14								0.17	

注: 1) 以眼睛至少闭合 70%的时间占特定时间的百分率为评价指标; 2) 以眼睛至少闭合 80%的时间占特定时间的百分率为评价指标; 3) 以眼睛闭合时间占特定时间百分率的平均值为评价指标; 4) 加强研究有限公司的脑电图算法(Consolidated Research Inc. EEG algorithm); 5) 马克基医生的脑电图算法(Dr Makeig's EEG algorithm); 6) 使用监视装置测量头部位置(a head-position monitoring device); 7) 使用高级点阵传感器测量头部位置(A dvance A rray Sensing System); 8) 使用仪器为MTI研究所的警觉监视器MTIResearch, Inc. A lertnessMonitor); 9) 使用仪器为 M 系统有限公司的眨眼仪(M System, Inc Blinkometer)。

从表 1 可以看出,所有的方法在不同程度上都能预测驾驶疲劳,而 PERCLOS 的 P80 与驾驶疲劳程度的相关性最好。其他研究人员也得出了类似的结论^[3]。

1999 年 4 月美国联邦公路管理局 FHWA (Federal Highway Administration) 召集各个大学有关研究驾驶疲劳方面的专家学者,讨论了 PERCLOS 和其他眼睛活动测量方法的有效性。研究认为,应该优先考虑把测量机动车辆驾驶员的 PERCLOS 作为车载的、实时的、非接触式的疲劳测评方法^[4]。

目前在实验室里和驾驶模拟器上测量眨眼频率、瞳孔反应、眼睛的开闭时间来评价机动车驾驶员的驾驶疲劳还只是“概念的证明”,离实际应用还有相当长的距离。

图 2 示出用 PERCLOS 的测量原理。只要测量出 $t_1 \sim t_4$ 值就能计算出 PERCLOS 的值 f 。

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

其中, f 为眼睛闭合时间占某一特定时间的百分率, %。

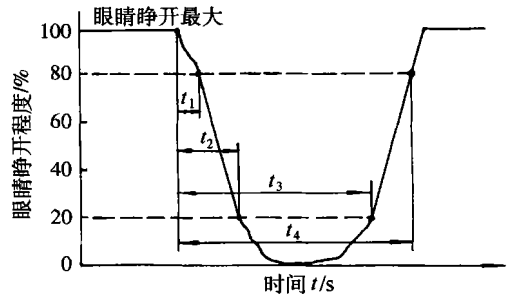


图 2 PERCLOS 值的测量原理

2 测评系统的硬件构成

硬件系统由奔腾 550, CG200 图像采集卡, 敏通 (MINTRON) CCD 摄像头构成。CCD 摄像头、CG200 图像采集卡完成驾驶员人脸图像的采集, 在 Windows 98 下通过识别算法定位人脸的位置和大小, 找出眼睛所在的区域, 定出眼睛的位置, 再利用灰度模式匹配方法确定眼睛是否闭合, 最后给出驾驶疲劳程度的评价结果。

3 驾驶疲劳的识别算法

3.1 人脸识别方法

目前国内外研究用于人脸识别的方法很多, 根据人脸表征方式的不同, 总体上可分为 3 种:

1) 基于几何特征的人脸正面图像识别方法。将人脸用一组几何特征矢量表示, 用模式识别中层次聚类思想设计分类器进行识别。几何特征矢量是以人脸器官的形状和几何关系为基础的特征矢量。

2) 基于代数特征的人脸正面自动识别方法。将人脸用代数特征矢量来表示。代数特征描述了图像的内在信息, 它是通过对图像灰度进行各种代数变换和矩阵分解提取出的。这种方法将人脸看成一个二维的灰度变化模板, 从整体上捕捉和描述人脸的特征, 所运用的主要是一些标准的数理统计技巧。

3) 基于连接机制的人脸正面自动识别方法。将人脸直接用灰度图 (二维矩阵) 表示, 利用神经网络的学习能力及分类能力识别人脸。这种方法的优势在于保存了人脸图像的形状信息, 同时避免了较为复杂的特征提取工作。上述方法普遍存在的问题是识别准确率低, 过程复杂。

3.2 驾驶疲劳的识别算法

笔者从构造实际应用系统的要求出发, 采用基于皮肤色彩特征的高斯模型识别方法^[5]。具

体过程是: 假设人脸图像轮廓符合二维高斯模型; 用水平和垂直灰度投影图进行 Sobel 卷积得到眼睛区域, 并且分割出左、右眼睛; 利用模板匹配方法确定眼睛的开、闭; 通过计算某一特定时间内的帧数得出眼睛闭合时间占该段时间的百分率。

理论计算。在正常光照条件下, 从 CCD 摄像头传送来的驾驶员人脸图像是用三基色 RGB 表示的, 如果脸部的 P_1 点 (r_1, g_1, b_1) 与 P_2 点 (r_2, g_2, b_2) 有如式(1)所示的关系:

$$\begin{matrix} r_1 & g_1 & b_1 \\ r_2 & g_2 & b_2 \end{matrix} \quad (1)$$

则可以把三维空间的脸部色彩图像表示成为二维的色彩图像, 以便在后面的处理中节约大量的计算时间。用二维色彩图像描述的驾驶员脸部图像见式(2)。

$$\left. \begin{aligned} r_i &= \frac{R}{R+G+B} \\ g_i &= \frac{G}{R+G+B} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

二维空间的脸部图像是一组随机变量, 其边缘符合高斯分布。因此, 二维随机变量的概率密度函数为

$$f(r_i, g_i) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} \exp \left\{ -\frac{1}{2(1-r^2)} \left[\frac{(r_i - \bar{\mu}_1)^2}{\sigma_1^2} - 2r \frac{(r_i - \bar{\mu}_1)(g_i - \bar{\mu}_2)}{\sigma_1\sigma_2} + \frac{(g_i - \bar{\mu}_2)^2}{\sigma_2^2} \right] \right\} \quad (3)$$

其中: $\bar{\mu}_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N r_i$, $\bar{\mu}_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N g_i$; μ_1, μ_2 和 σ_1^2, σ_2^2 分别为 r_i, g_i 的均值和方差; N 为总的像素数; r_i, g_i 的协方差是

$$V = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & r\sigma_1\sigma_2 \\ r\sigma_1\sigma_2 & \sigma_2^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

为了表示简单明了, 以 V^{-1} 表示 V 的逆矩阵, 因此 $\mu = E(r_i, g_i) = (\bar{\mu}_1, \bar{\mu}_2) = X$,

$$V = D(r_i, g_i) = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & r\sigma_1\sigma_2 \\ r\sigma_1\sigma_2 & \sigma_2^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$|V| = \sigma_1^2\sigma_2^2(1-r^2) \quad (6)$$

$$V^{-1} = \frac{1}{\sigma_1^2\sigma_2^2(1-r^2)} \begin{bmatrix} \sigma_2^2 & -r\sigma_1\sigma_2 \\ -r\sigma_1\sigma_2 & \sigma_1^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

所以

$$f(r_i, g_i) = \frac{1}{2\pi|V|^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (X - \mu) V^{-1} (X - \mu) \right\} \quad (8)$$

其中, X 表示均值向量。可以证明, 二元正态分布由 μ 和 V 唯一确定, 这就说明任何一个人有唯一的 μ 和 V 。因此该系统具有很好的鲁棒性^[5]。

算法的工程实现。对某个人的第一帧图像(正面彩色图像), 按式(1)~(8)进行计算, 得出其脸部图像的特征数据, 以此来过滤后续各帧图像, 使只有与此色彩相接近的肤色才能通过。这样, 输入图像通过此高斯模型来滤波, 除去非脸部的图像, 应用 Blob 操作找出脸的宽度和高度, 应用 Sobel 二阶微分算子^[6]求出眼睛所在的区域, 通过灰度直方图水平方向的投影找出 2 个峰值。一个峰值是人脸图像灰度变化最大的地方, 即眼睛部分; 另一个峰值是图像背景灰度

变化最大地方(见图3)。依据人脸的结构特点,能够给出眼睛在图像中的相对位置:

$$H(y) = \sum_{i=1}^{x_1} G(i,y) \tag{9}$$

式中: x_1 为定位后人脸的宽度, G 为 i 点的灰度, y 为定位后人脸高度; $H(y)$ 为在 y 点处的灰度和。

再利用对称性计算两眼的分割点,即两波峰之间的波谷:

$$S(x) = \sum_{w=1}^{y_1} \{ \text{abs}[I(x-w,y) - I(x+w,y)] \} \tag{10}$$

式中: I 为亮度, y_1 为眼睛所在区域的高度, w 为人眼睛的宽度, k 为对称分割点到左眼的宽度。应用模式匹配的方法作眼睛睁开的模板 M , 计算出与下帧眼睛图像比较的相关系数 η

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^{N_1} IM_i - \sum_{i=1}^{N_1} I_i \sum_{i=1}^{N_1} M_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_1} I_i^2 - \left[\sum_{i=1}^{N_1} I_i \right]^2 \left[\sum_{i=1}^{N_1} M_i^2 - \left[\sum_{i=1}^{N_1} M_i \right]^2 \right]}} \tag{11}$$

其中: N_1 是一只眼睛的像素个数, M 是被比较的模板, I 是亮度。

4 示 例

根据上述识别算法,笔者开发了相应的软件系统,实现了对人脸图像的测量、采集、识别和驾驶疲劳程度的评价。图4为系统依次完成人脸识别处理过程的示例。

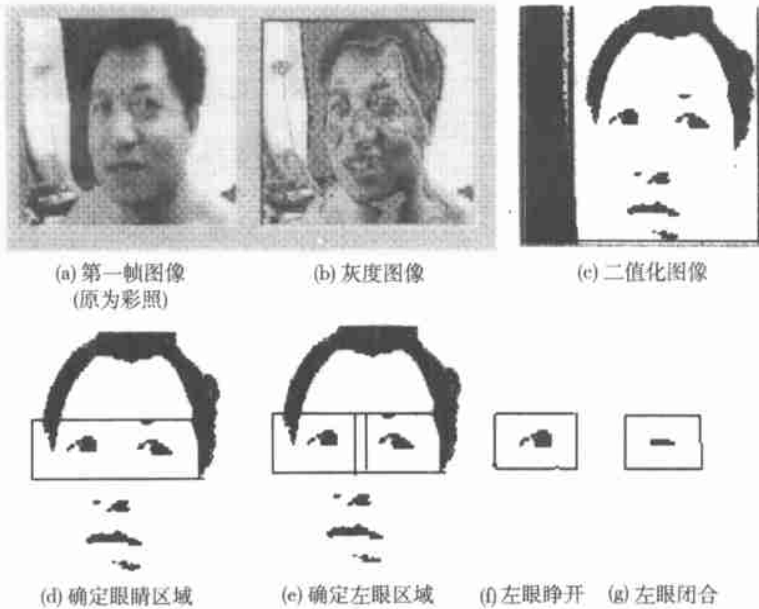


图4 人脸识别过程

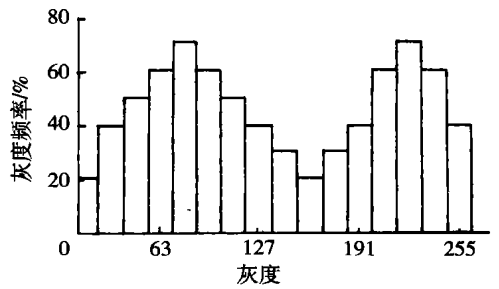


图3 灰度直方图

5 结 论

机动车驾驶员脸部活动图像的高斯模型, 对于脸部定位是比较适宜的。但是目前利用微机实现驾驶员驾驶疲劳的测评很难达到所要求的实时性。如果采用加拿大的Matrox Genesis(带有TM S320C80 DSP)图像卡可以达到 $15 \text{ 帧} \cdot \text{s}^{-1}$ 的眼睛追踪速率, 和 $10 \text{ 帧} \cdot \text{s}^{-1}$ 的疲劳识别速率。

利用文中所述的方法测定眼睛闭合持续时间不会给驾驶员的驾驶操作、视觉和心理状态造成任何妨碍、干扰和负担, 能够方便地对机动车驾驶员的驾驶疲劳程度进行实时的、非接触式的监测和评价。可以把基于PERCLOS的疲劳识别算法作为实施机动车驾驶员驾驶疲劳测评的首选方法。

参 考 文 献

- 1 Laurence H, Nick M. Review of fatigue detection and prediction technologies <http://www.nrtc.gov.au> 2000-09
- 2 Dinges D F, Grace R. PERCLOS: A valid Psychophysiological measure of alertness as assessed by psychomotor vigilance <http://fhwa.dot.gov> 1998-10
- 3 Federal Highway Administration. Eye-activity measures of fatigue and napping as a fatigue countmeasure Federal Highway Administration Tech Brief <http://fhwa.dot.gov> 1994-04
- 4 Federal Highway Administration. Commercial Motor Vehicle Driver Fatigue and Alertness Study, <http://fhwa.dot.gov> 1999-11
- 5 郭诗松, 王静龙, 濮晓龙. 高等数理统计. 北京: 高等教育出版社, 1998 122~ 133