

文章编号: 1007-130X(2006)06-0052-03

一种基于视觉的 PERCLOS 特征提取方法^{*}

A Vision-Based Method to Detect PERCLOS Features

王 磊, 吴晓娟, 巴本冬, 董文会

WANG Lei, WU Xiao-juan, BA Ben-dong, DONG Wen-hui

(山东大学信息科学与工程学院, 山东 济南 250100)

(School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China)

摘 要: PERCLOS 是有效地检测驾驶员瞌睡的特征。本文在前人研究的基础上, 提出了一种快速、有效的计算眼睛睁开程度的检测算法。针对车内光线会有变化的特点, 对肤色滤波之后的人脸灰度图像通过累计直方图阈值法进行二值化, 很好地面部五官从肤色中分离出来。最后利用连通域搜索算法得到双眼睁开的大小, 并最终提取到 PERCLOS。

Abstract: PERCLOS is an effective cue for driver fatigue detection. In this paper, the authors present a fast and effective method to calculate the open degree of a driver's eyes. Since the light inside the car is always changing, after skin segmentation, accumulative histogram threshold is used to binarize the face image, and then the eyes are separated from the skin color perfectly. A 4-connected component algorithm is used to calculate the area of two eyes, and then the open degree of eyes is got. Finally PERCLOS is obtained.

关键词: 驾驶疲劳/ 瞌睡; PERCLOS; 肤色分割; 累计直方图

Key words: driver fatigue/ drossiness; PERCLOS; skin segmentation; accumulative histogram

中图分类号: TP391. 41

文献标识码: A

1 引言

驾驶疲劳/ 瞌睡是引发恶性交通事故的重要原因之一。在美国, 每年由驾驶疲劳引发的交通事故多达 100 000 起, 导致 40 000 人受伤, 1 550 人死亡^[1]。而在高速公路发生的事故中, 50 % 是由于司机疲劳、打盹或注意力不集中造成的。因此, 如何在驾驶中实时检测出疲劳/ 瞌睡的发生成为国际上研究的热点。

能够反映疲劳/ 瞌睡的特征很多, 可以归纳为三类: (1) 生理信号(脑电、心电、皮肤电势等); (2) 物理反应(眨眼、眼动、头动等); (3) 车辆和路面的相关参数(速度、加速度、侧位移等)。其中, 眼睛活动特征的检测以其准确性、可靠性和无接触性成为检测驾驶疲劳/ 瞌睡的首选。

2 PERCLOS 检测驾驶疲劳/ 瞌睡

Wierwille^[2] 驾驶模拟器上的实验结果证明, 眼睛的闭

合时间可以一定程度地反映疲劳, 如图 1 所示。

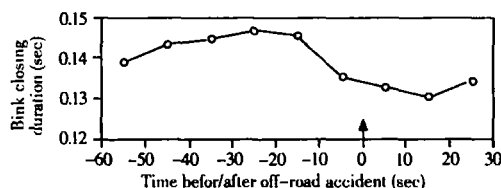


图 1 眼睛闭合时间在事故发生前后的变化

在此基础上, 卡内基梅隆研究所经过反复实验和论证, 提出了度量疲劳/ 瞌睡的物理量 PERCLOS (Percentage of Eyelid Closure over the Pupil, over Time, 简称 PERCLOS), 其定义为单位时间内 (一般取 1 分钟或者 30 秒) 眼睛闭合一定比例 (70 % 或 80 %) 所占的时间, 满足下式时就认为发生了瞌睡:

$$\frac{\text{眼睛闭合超过 } 70 \% \text{ 或 } 80 \% \text{ 的时间}}{\text{固定时间}} \geq \text{门限}$$

美国联邦公路管理局 (FHWA) 和美国国家公路交通

^{*} 收稿日期: 2004-11-09; 修订日期: 2005-03-21

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目 (Y2002 G04)

作者简介: 王磊 (1980-), 女, 硕士生, 山东蓬莱人, 研究方向为通信与信息系统、信号处理; 吴晓娟, 教授, 博士生导师, 研究方向为图像处理与模式识别。

通讯地址: 250100 山东省济南市山大南路 47 号山东大学信息科学与工程学院 吴晓娟; Tel: (0531) 88362526; E-mail: xiaojwu@sdu.edu.cn

Address: School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan, Shandong 250100, P. R. China

全管理局(NHTSA)在实验室中模拟驾驶,完成了九种疲劳检测指标的比较。结果证明,这些方法都能在不同程度上预测驾驶疲劳,而 PERCLOS 与驾驶疲劳的相关性最好^[3]。

由 PERCLOS 的定义可知,如何从视频序列中准确无误地提取到眼睛睁开的程度最为重要。

NHTSA 的 PERCLOS 检测计算睁闭眼是建立在一种特殊的摄像头找眼睛的基础上^[4],设备比较复杂。本文在前人研究的基础上,提出了一种快速、有效、对光照不敏感的睁眼程度检测算法。

3 眼睛睁开程度的检测算法

3.1 脸部定位与分割

3.1.1 肤色分割

颜色是人脸表面最为显著的特征之一。本文利用 YCbCr 空间肤色分割的方法进行脸的定位,相比 Papanikolopoulos^[5]和 Wang Rong-ben^[6]采用的 RGB 色彩空间而言,YCbCr 空间将亮度信息 Y 作为单独分量。Y 对色度 CbCr 平面的分布影响可以忽略不计,减轻了对光照的敏感性。相比同样将亮度信息作为单独分量的 HSI 空间而言,YCbCr 空间还有如下优点:

- (1) YCbCr 空间是离散空间,易于实现聚类算法;
- (2) YCbCr 空间是感知均匀的色彩空间,肤色在 YCbCr 的聚类更为紧凑。

由图 2 可见,CbCr 平面中要精确描述肤色边界很复杂。因此,实际计算中可以简化边界。如果一个像素的归一化 Cb 和 Cr 值满足 $0.43 < Cb < 0.55$ 和 $0.53 < Cr < 0.62$,则该像素点被认为是肤色,结果如图 3 所示。

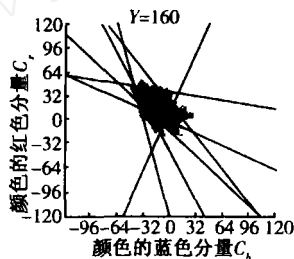


图2 YcbCr 和 HSI 空间肤色边界

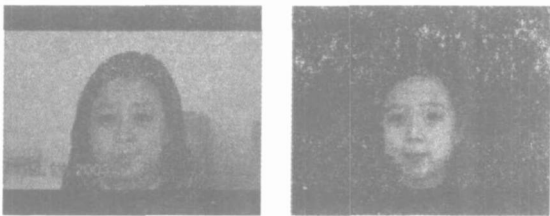


图3 肤色分割结果

3.1.2 二值化

二值化的目的是为了把眼睛从肤色中完整地分离出来。我们把肤色分割后的图像转换为灰度图像,得到肤色灰度图像,然后进行二值化。

本文提出累计直方图阈值法对肤色灰度图像进行二值化,而不是像文献[6]那样直接进行二值化,这样做主要是基于以下几点考虑:

- (1) 上一步骤中简化了肤色边界,使得五官中一些非肤色区域被误判为肤色,造成了一定的误差;

(2) 通常嘴巴、眼睛、眉毛的灰度相对肤色是偏暗的,所以只要设计一个阈值,让低于此阈值的像素在二值化后都等于 0,就能把五官从肤色中分离出来。

(3) 不同光照条件下得到的肤色灰度图像的灰度分布区域有很大不同,如图 4 所示。因此,固定阈值二值化难以满足要求。

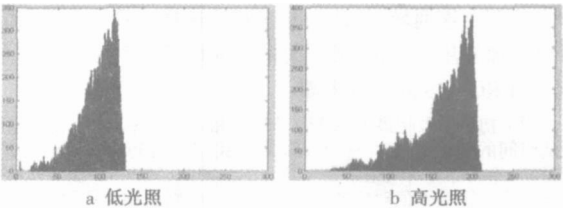


图4 不同亮度情况下的肤色灰度统计直方图

本文提出的累计直方图阈值法能根据图像的整体亮度自适应地选择二值化的阈值 T。

设 H 为肤色的总面积, h(t) 为肤色像素的统计直方图,累计直方图 A(t) 为:

$$A(t) = \int_0^t h(t) dt \quad (1)$$

通过反复实验,发现 $A(t) = 0.18H$ 时的阈值 T 最符合要求,即把亮度最低的 18% 的肤色像素二值化为 0,而其他肤色像素将被二值化为 1。

然后采用 5 * 5 的模板进行腐蚀和膨胀去噪,就可以把五官从脸区域中完美地分离出来,如图 5b。

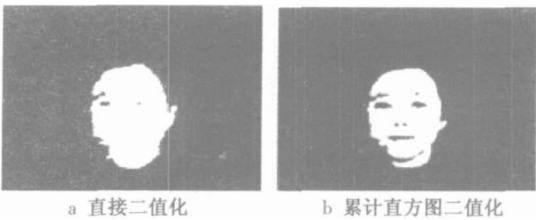


图5 二值化结果

3.2 眼睛定位与分割

通过上面的步骤,我们很容易把脸部区域分割出来。眼睛的分割主要就是确定眼睛的垂直位置,为了下面的步骤中嘴部不会造成影响,须先把嘴部从脸区域中去除掉。因为嘴部几乎在脸部最下方,所以接下来的计算只在脸区域上 2/3 部分进行,如图 6 所示。

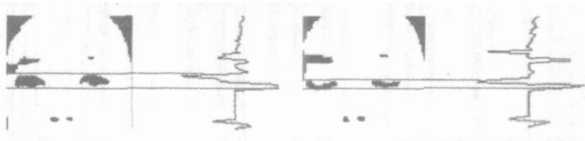


图6 脸区域垂直梯度的水平投影

首先,计算 2/3 脸部区域图的垂直方向梯度矩阵:

$$G(i, j) = I(i + 1, j) - I(i, j) \quad (2)$$

然后,把梯度矩阵进行水平投影:

$$H(j) = \sum_i G(i, j) \quad (3)$$

H(j) 为水平投影直方图,如图 6 所示。我们认为两眼大致在同一水平线上。因此, H(j) 在眼睛上下边缘处会出现正负两个峰值,眼睛正处于两峰值之间。考虑到司机开车过程中头有可能倾斜,因此我们在实际计算时把上下眼

脸的位置从正负峰值处向上、下推移 2~3 个像素的距离,得到的结果如图 7 所示。

3.3 PERCLOS 的计算

本文通过计算两眼面积来计算眼睛睁开的程度,采用 4 邻域算法在眼区域图中寻找出最大的两个连通域,就认为是眼睛。这样做算法简单,而且可以去掉零星的噪声,最重要的是对眼睛倾斜不敏感。

PERCLOS 的计算步骤:

(1) 初始化眼睛最大值 $M_{左}$ 、 $M_{右}$ 和最小值 $m_{左}$ 、 $m_{右}$ 。设两眼面积随时间的变化函数为 $S_{左}(t)$ 、 $S_{右}(t)$,我们认为初始化阶段人是不疲劳的,绝大部分时间眼睛是全睁开的。因此, $M_{左}$ 、 $M_{右}$ 由 $S(t)$ 的频数统计直方图最大值对应的 S 确定, $m_{左}$ 、 $m_{右}$ 则由初始化阶段 S 的频数统计直方图除 0 位置之外的起始位置确定,如图 8 所示。

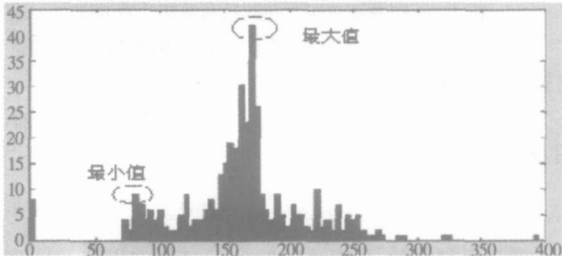


图 8 初始化阶段 S 的频数统计直方图

(2) 检测阶段。把按照上文的方法检测到的凡是眼睛面积大于最大值的都等于最大值。

(3) 计算左右眼睛睁开的程度:

$$p_{左}(t) = (S_{左}(t) - m_{左}) / (M_{左} - m_{左}) \tag{4}$$

$$p_{右}(t) = (S_{右}(t) - m_{右}) / (M_{右} - m_{右}) \tag{5}$$

最终输出眼睛睁开的程度和 PERCLOS:

$$p(t) = [p_{左}(t) + p_{右}(t)] / 2 \tag{6}$$

$$PERCLOS = \frac{1}{360_{30sec}} (p(t) < 0.7) \tag{7}$$

4 仿真实验结果

本文所用的视频序列是在室内模拟驾驶条件下通过 CCD 彩色摄像机采集的,采样率 12 帧/秒。室内没有开任何人工光源,针对驾驶座上左面靠近车窗的情况,左脸光照强度略高于右脸。

三个被测者(2 男、1 女)拍摄两天,得到三组视频录像,从最后的录像中分别剪出疲劳与不疲劳的视频,5 分钟一段,共 5 段,进行 $p(t)$ 检测。图 9 为其中一组实验结果。

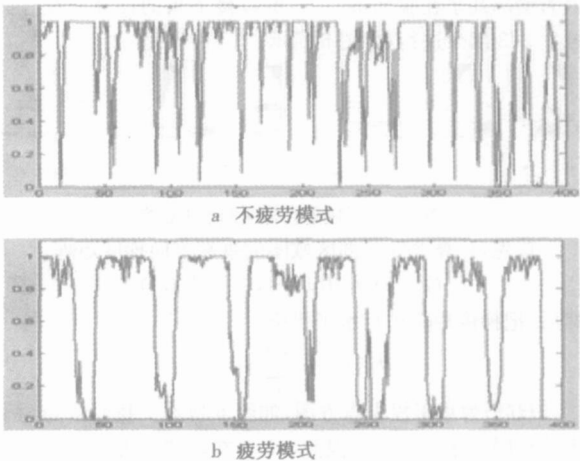


图 9 眼睛睁开程度随时间的变化

从图 9 可以看出,疲劳阶段眨眼的速度明显变慢,在不疲劳阶段,眼睛睁一闭一睁的过程只需要 3~4 帧的时间(0.25 秒左右),而疲劳时则需要 10~20 帧的时间。每 30 秒统计一次 PERCLOS 的结果如表 1 所示。

表 1 5 分钟 PERCLOS 检测结果

时间	视频 1 (不疲劳)	视频 2 (不疲劳)	视频 3 (不疲劳)	视频 4 (疲劳)	视频 5 (疲劳)
0.5m	0.206 3	0.188 9	0.219 6	0.293 6	0.331 7
1.0m	0.191 1	0.196 4	0.229 6	0.306 9	0.330 9
1.5m	0.175 2	0.204 5	0.217 5	0.346 9	0.361 1
2.0m	0.186 6	0.158 9	0.199 8	0.324 4	0.314 5
2.5m	0.209 9	0.209 3	0.217 4	0.306 9	0.265 4
3.0m	0.203 1	0.213 5	0.210 5	0.330 2	0.298 8
3.5m	0.183 6	0.189 6	0.185 5	0.369 5	0.344 6
4.0m	0.200 9	0.209 9	0.206 5	0.315 5	0.314 4
4.5m	0.200 6	0.189 4	0.219 6	0.322 1	0.335 8
5.0m	0.187 3	0.219 6	0.198 4	0.339 6	0.342 1

从表 1 可以看出,疲劳时的 PERCLOS 比不疲劳时有明显的提高。

5 结束语

通过本文的方法可以有效地提取到驾驶员眼睛睁开的程度,并最终计算 PERCLOS。但是,本文的实验环境相对较理想,如光照不均匀程度较轻,也较稳定,被测者头部没有很大范围的移动。而实际情况要复杂得多,如在树影斑驳的马路上驾驶室内光照的变化非常迅速、很多司机戴眼镜等问题都是有待解决的棘手问题,也是我们下一步的工作。

参考文献:

[1] http://www.nhtsa.gov/people/injury/drowsy_driving1/index.html, 2003-05.

[2] W W Wierwille, L A Ellsworth, S S Wreggit, et al. Research on Vehicle Based Driver Status/ Performance Monitoring: Development, Validation, and Refinement of Algorithms for Detection of Driver Drowsiness[R]. Final Report: DOT HS 808 247, National Highway Traffic Safety Administration, 1994.

[3] D F Dinges, R Grace. PERCLOS: A Valid Psychophysiological Measure of Alertness as Assessed by Psychomotor Vigilance [R]. Report No FHWA2 MCRT2982006, Federal Highway Administration, Office of Motor Carriers, 1998.

[4] R Grace, V E Byrne, J M Legrand, et al. A Machine Vision Based Drowsy Driver Detection System for Heavy Vehicles [A]. Proc of the Ocular Measures of Driver Alertness Conf [C]. 1999. 75-86.

[5] E Wahlstrom, O Masoud, N Papanikolopoulos. Vision-Based Methods for Driver Monitoring [A]. Proc of the Intelligent Transportation Systems Symp [C]. 2003. 903-908.

[6] Wang Rong-ben, Guo Ke-you. A Monitoring Method of Driver Fatigue Behavior Based on Machine Vision [A]. Proc of IEEE IV 2002 [C]. 2003. 110-113.