

基于计算机视觉的驾驶疲劳识别方法的研究^{*}

葛如海 教授 陈彦博 刘志强 教授

(江苏大学汽车与交通工程学院, 镇江 212013)

学科分类与代码 :620.50

中图分类号 :X924.4

文献标识码 :A

资助项目 :江苏省科技厅高新技术项目 (BG2005008)。

【摘要】 汽车驾驶员疲劳驾驶是引发交通事故的重要原因之一,许多国家在进行疲劳报警器的研究。在介绍和比较多种驾驶疲劳测评方法的基础上,阐述 PERCLOS 评价驾驶疲劳的机理,并与其他几种方法进行对比,以证明其优越性。设计一套驾驶员疲劳监控系统,应用图像差分的方法,灰度直方图、直方图均衡化等图像分析手段,定位和识别驾驶员眼睛睁开与闭合的变化过程,统计出眼睛闭合时间来确定疲劳程度,并通过利用 MATLAB 得以实现。给出了一种基于 PERCLOS 的驾驶员疲劳识别的新方法。

【关键词】 驾驶疲劳; 图像识别; 图像差分; 灰度图均衡化; PERCLOS

Detection Method for Driver Fatigue with Computerized Vision

GE Ru-hai, Prof. CHEN Yan-bo LIU Zhi-qiang, Prof.

(School of Automobile & Traffic Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract : Driving in case of drowse is a most important factor of traffic accidents. Now many countries are active in studying drowsy monitor. A lot of methods for evaluating driver fatigue are presented. According to the comparison between these commonly used detecting and evaluating techniques of motor driver fatigue, the PERCLOS is most significantly correlated with driver fatigue. A feasible driver fatigue monitoring system based on image difference, intensity histogram and intensity histogram equalization is presented to detect and locate the driver's eyes in the image and to detect the eyelid closure over the pupil over time to measure the driver fatigue degree. The method is implemented in MATLAB. A new method based on computerized vision to recognize motor driver fatigue is provided.

Key words : driver fatigue; image recognition; image difference; intensity histogram equalization; PERCLOS (percentage of eyelid closure over the pupil over time)

1 引言

道路交通安全状况日益恶化的趋势,已成为当今社会经济发展的一大难题^[1]。在众多的交通事故中,司机疲劳驾驶是引发交通事故的一个重要原因。美国国家公路交通安全局最近几年的调查显示,每

年平均有 56 000 起车祸与疲劳驾驶相关,造成 40 000 人受伤,1 544 人死亡(占交通事故死亡总人数的 3.7%)^[2]。调查还显示有 27% 的受访者表示有过开车打瞌睡的经历。因此,有必要研制能识别司机疲劳程度的报警装置。笔者通过与以往的驾驶疲劳识别方法进行对比,从车载、实时、非接触等方

^{*} 文章编号:1003-3033(2006)09-0134-05; 收稿日期:2006-04-09; 修稿日期:2006-08-18

面考虑,以 PERCLOS (Percentage of Eyelid Closure over the Pupil over Time) 为评价标准,采用简单有效的视觉图像处理手段,研究了新颖快捷的驾驶疲劳识别方法。

2 驾驶员疲劳程度的检测方法

在研究司机疲劳驾驶的早期,对驾驶疲劳的客观测评主要是从医学角度出发,借助医用设备测量司机脑波、心电波形等来确定疲劳程度。虽然较为准确,但却复杂而不易推广。在 20 世纪末,随着计算机技术和电子技术的发展,疲劳测评技术有了很大的提高。近十年来,国外已经开发出几种比较有效的瞌睡监测技术。

目前应用比较多的方法有以下几种。

2.1 头部位置传感器 (Head Position Sensor)

Head Position Sensor^[3]是由澳大利亚人开发,用来测量驾驶员头部位置的传感器。在司机座位上安装一个相邻的电极电容传感器阵列,传感器能输出司机头部距离传感器的位置,可以计算出头在三维空间中的位置,也能够实时跟踪头部的位置,利用各个时间段头部位置的变化特征,表现出司机处于清醒还是瞌睡状态。

该装置的特点是:实时操作、可以预测司机打瞌睡、容易安装、测量头部位置精确、能用来评价使用者不同的精神状态、研究人是否分神、注意力是否集中。困难是要求在司机脸上作一些标记,车辆内的光线变化明显时,测量容易失败。由于点头的动作和瞌睡的相关系数仍然没有找到合适的关系,因此准确率不是很高^[3]。

2.2 瞳孔测量计进行疲劳测量

瞳孔测量计是实时测量眼睛的瞳孔尺寸变化的装置。根据瞳孔的变化关系来评测疲劳度。受试者坐在一个舒适的椅子上,用 2 个红外敏感度很高的摄像头放在测试者前面,同时要求测试者看着前面墙上的红点。每秒测试 60 幅。第一分钟将室内的灯打开,其余 14 分钟将灯关上。

研究发现,在灯关掉的一段时间内,清醒人瞳孔的直径保持相对稳定的大小,而疲劳人瞳孔的直径有比较明显的变化。根据变化的程度就可以计算出瞳孔没有休息指数 PUI (Pupillary Unrest Index), PUI 对分析瞌睡的水平是有价值的。利用瞳孔计,他们测量出人在 24 小时内发生疲劳的节律,人在上午

10 时左右最清醒,而下午 2 时最易发生瞌睡。该装置的缺点是目前还不能达到车载和实时的要求^[3]。

2.3 道路跟踪系统 (Lane Tracking System)

由美国研制,测量车辆离开白线的时间和程度。缺点是要求白线清晰,晚上测量容易失败^[3]。

2.4 PERCLOS 监视仪 (PERCLOS Monitor)

PERCLOS^[4]指的是眼睛闭合时间超占某一特定时间的百分率^[5]。它可以实现非接触式检测,不影响驾驶。通常是在单位时间 (1 min) 内测量眼睛闭合程度超过 80 % 的时间所占的比例 (用 P80 表示)。在实验中用 P80 表示。1998 年美国联邦公路管理局 (FHWA, Federal Highway Administration) 在实验室中模拟驾驶,作了多种疲劳检测方法的比较,认为 PERCLOS 的准确度最高。

2.5 其他测量方法

日本科研人员 2000 年提出通过分析驾驶员声音的频率成分来测量瞌睡的方法,为测量瞌睡开辟了新思路。

1999 年 4 月美国联邦公路管理局 FHWA 召集各大学研究驾驶疲劳方面的专家,讨论 PERCLOS 和其他眼睛活动测量方法的有效性。研究结果显示 PERCLOS 中 P80 与客观疲劳的相关系数最大。最后一致认为,优先考虑 PERCLOS 为最有效的车载的、实时地的、非接触式的疲劳测评方法^[6]。

PERCLOS 检测基于机器视觉,图像处理有一定难度。基于 PERCLOS 的原理,下面提出了适于利用 PERCLOS 进行疲劳检测的图像处理方法。

3 PERCLOS 实施技术和实现方法研究

为了计算 PERCLOS,都要从摄取的驾驶员脸部图像中分别找出眼睛部分并进行识别和运算。经常采用的方法是直接在人脸图像中定位眼睛位置以及利用复杂模型和算法从脸部图像中分割出眼睛部分。以往驾驶疲劳研究中采用过的方法有:

1) 基于皮肤色彩特征的高斯模型识别方法^[7]

该方法假设人脸轮廓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。

2) 利用圆频率变换定位眼睛并计算其面积^[8]

圆频率变换的滤波方法是一种分析人脸姿势的方法。特点是不直接定位眼睛,而是通过定位两只眼睛的连线的中点位置来分析人脸姿势。运用此方法可以缩小眼睛定位的搜索范围。

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)来表示。利用神经网络的学习能力和分类能力识别人脸并找出眼睛部分^[7]。

上述3种方法普遍存在的问题都是具有复杂的算法,计算时间长并且准确率低;其特点都是利用复杂算法针对单幅的人脸图像进行识别和分析。

笔者提出一种新思路和新方法,即在提取眼部图像的过程中,采用图像差分,对两幅同帧但有区别的人脸图像进行处理,定位并提取眼睛部分,使该过程的实现相对简单。

3.1 图像的差分

图像的差分也就是图像之间的相减运算。因为每一幅数字图像都是一个矩阵。所以,两幅灰度图相减,就是它们所对应的矩阵相减。设有图像 $f(x,$

$y)$ 和 $h(x, y)$, 则它们相减的结果: $g(x, y) = f(x, y) - h(x, y)$ 。图像相减可以用于去除一幅图像中不需要的加性图案,加性图案可能是变化的背景阴影和中期性的噪声。

在摄取驾驶员脸部图像时,利用红外发光二极管阵列照明,同时使用两个互成 90° 角安装的 CMOS 摄像头(见图 1)对于同一目标摄取两幅同帧图像,图像通过一个电子束分离器反射到两个摄像头前的滤镜上。不同之处在于两个摄像头使用不同的滤镜,分别为 850 nm 和 950 nm 的滤镜。由于人眼的特殊结构,视网膜对于不同频率的红外光的反射程度不同。当红外光的波长为 850 nm 时,视网膜反射出入射光的 90%,而当红外光波长为 950 nm 时,反射程度只有 40%。然而在光源波长处在 880 ± 80 nm 范围之内时,人脸的其他部分对于红外光的反射程度却基本一致。两张图像惟一的差别就在于眼睛视网膜反射的部分^[9]。所以从第一张图像中减去第二张图像后,只留下眼睛部分。这样就把眼睛图像从驾驶员脸部图像中分离出来。然后就可以对眼部图像进行需要的测量,测得的结果用于 PERCLOS 的计算。

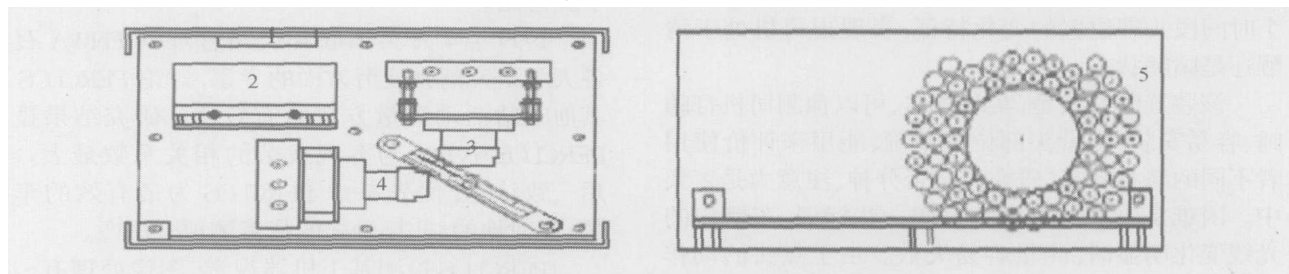


图1 摄像头安装示意图和光源安装示意图

1—散热风扇;2—用来同步两个摄像头电流的控制板;

3—950 nm 的滤镜;4—850 nm 的滤镜;5—由 LED 组成的红外光源

3.2 对差分图像的处理

由于摄取图像受外界光照以及各种随机因素的影响,差分之后的图像必然存在背景干扰。使用 MATLAB 中的图像处理工具箱,将摄取到的两幅图像转换为灰度图,然后再进行差分。为了之后的图像处理以及计算的方便,将差分得到的灰度图首先进行直方图均衡化处理^[10],再转化成二值图像。直方图均衡化的基本思想是把原始图像的直方图变换成均匀分布的形式,这样就增加了像素灰度值的动态范围,从而达到了增强图像整体对比度的效果。其方法是:

1) 给出原始图像的所有灰度级 $s_k, k = 0, 1,$

$\dots, L - 1$ 。

2) 统计原始图像各个灰度级的像素数 n_k 。

3) 用 $p(s_k) = n_k / n, k = 0, 1, \dots, L - 1$ 计算原始图像的直方图。其中, s_k 是图像 $f(x, y)$ 的第 k 级灰度值, n_k 是 $f(x, y)$ 中具有灰度值 s_k 的像素的个数, n 是图像中像素的总数。 $p(s_k)$ 给出了对 s_k 出现概率的一个估计。

4) 计算原始图像的直方图:

$$t_k = EH(s_k) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n} = \sum_{i=0}^k p(s_i)$$

$$0 \leq s_k \leq L - 1, k = 0, 1, \dots, L - 1$$

5) 取整计算: $t_k = \text{int}[(N - 1)t_k + k/N]$

6) 确定映射关系 $s_k \rightarrow t_k$ 。

- 7) 统计新直方图的灰度级的像素数 n_k 。
- 8) 计算新的直方图: $p_l(t_k) = n_k / n$

当直方图均衡化完成后,将灰度图像转化为二值图像。二值图像中的像素值只有 0 和 1 两种可能,因此处理起来比灰度图简单。为了得到二值图像,首先需要计算出一个阈值,图像中像素值大于该阈值的像素定义为 1,小于该阈值的像素定义为 0,由此得到二值图像。根据计算眼睛睁开程度这一目的,选取的阈值应该使眼睛部分的像素全部为 1,而其他部分的像素为 0,反之亦可。得到灰度图的统计直方图后,就可找到该阈值。图像直方图是图像处理中一种十分重要的图像分析工具,它描述了一

幅图像的灰度级内容,任何一幅图像的直方图都包含了丰富的信息,它主要用在图像分割,图像灰度变换等处理过程中。从数学上来说图像直方图是图像各灰度值统计特性与图像灰度值的函数,它统计一幅图像中各个灰度级出现的次数或概率^[10]。因此,从直方图中可以得到生成二值图所需要的阈值。

在得到二值图之后,图像中只剩下小块噪声干扰,使用 MATLAB 里的图像处理工具箱,可以方便地去除。采用逐行扫描每个像素的算法,分别求出左右眼睛图像矩阵最顶端与最底端像素之间的行数差,这个行数差代表了眼睛的睁开程度,用于 PERCLOS 的计算。图 2 描述了图像处理的方法流程。

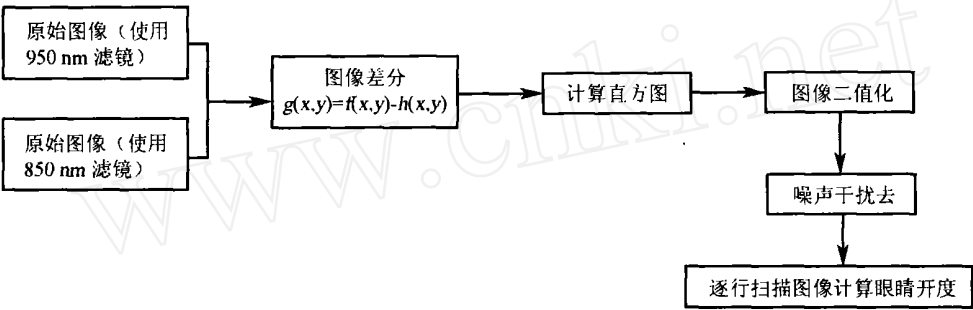


图 2 图像处理流程图

4 示 例

根据上述识别方法,编写了相应的程序,实现了对人脸图像中眼睛部分的采集、识别(见图 3)。

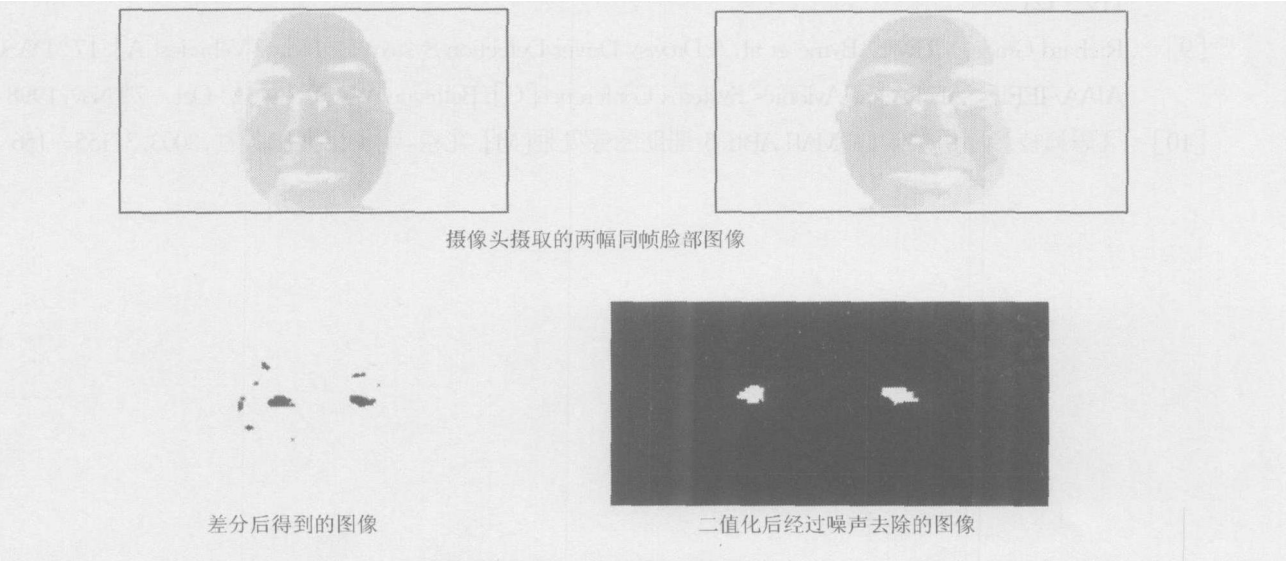


图 3 通过差分得到眼部图像

5 结 论

- 1) 对比国内外多种驾驶疲劳监测方法,根据车
- 2) 利用图像差分的方法从机动车驾驶员脸部

载、实时、有效的 3 项要求,设计了基于计算机视觉,以 PERCLOS 为疲劳评价标准的驾驶疲劳监测方法。

图像中提取眼部图像是一种方便有效的办法,不使用传统的从人脸图像中定位眼睛的方法,使提取过程简单化,可以有效地缩短运算时间,利于疲劳监测系统的实时化和车载。

3) 利用笔者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] 刘志强,王兆华等. 基于速度的交通事故分析[J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(11): 35 ~ 38
- [2] NHTSA. Expert Panel on Driver Fatigue & Sleepiness[OL]. Drowsy Driver and Automobile Crashes Report. <http://www.nhtsa.dot.gov/people/injury/drowsy-driving1/drowsy.htm>, 1998. 08
- [3] 周玉彬,俞梦孙. 疲劳驾驶检测方法的研究[J]. 医疗卫生装备, 2003(6): 29 ~ 32
- [4] 毛喆,初秀民等. 汽车驾驶员驾驶疲劳监测技术研究进展[J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(3): 108 ~ 112
- [5] Laurence H, Nick M. Review of fatigue detection and prediction technologies[OL]. <http://www.nrtc.gov.au>, 2000. 09
- [6] Federal Highway Administration. Commercial Motor Vehicle Driver Fatigue and Alertness Study[OL]. <http://fhwa.dot.gov>, 1999. 11
- [7] 郑培,宋正河,周一鸣. 基于 PERCLOS 的机动车驾驶员驾驶疲劳的识别算法[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(2): 104 ~ 109
- [8] 杨彬,黄耀治. 基于 PERCLOS 的汽车司机疲劳监控方法的研究[J]. 微计算机信息, 2005(24): 119 ~ 121
- [9] Richard Grace, Vicky E. Byrne et al. A Drowsy Driver Detection System for Heavy Vehicles[A]. 17th DASC. AIAA/ IEEE/ SAE Digital Avionics Systems Conference[C]. Bellevue, WA, USA, 31st Oct ~ 7th Nov. 1998
- [10] 飞思科技产品研发中心. MATLAB 6.5 辅助图像处理[M]. 北京:电子工业出版社, 2003. 3: 155 ~ 156