

# 基于 PERCLOS 的驾驶员疲劳检测算法<sup>①</sup>

## Fatigue Detection Algorithm Based on PERCLOS

郭永彩 李文涛 高 潮 (重庆大学 光电技术及系统教育部重点实验室 重庆 400030)

**摘要:** 提出了基于 PERCLOS 的驾驶员疲劳检测方法, 通过测量在一定的时间内眼睛闭合时所占的时间比例检测驾驶员的疲劳情况。设计的系统由红外光源、人眼图像传感、图像处理及眼睛面积补偿算法等组成。在提取人眼图像过程中, 利用人眼对 850nm/940nm 这两种波长的红外光线的吸收率的明显差异, 得到差分图像后可将眼睛与其余部分分离, 同时也避免了背景光线的干扰, 特别适合于夜间容易出现疲劳驾驶时段的检测。在眼睛面积的计算过程中, 通过面积补偿算法, 修正驾驶员眼睛与检测设备距离相对变化引起的误差, 提高了检测系统的准确率。

**关键词:** 疲劳驾驶 PERCLOS 红外光线 差分图像 面积补偿

中国 2005 年交通事故报告显示, 因为疲劳驾驶导致的死亡占全部交通事故死亡人数的 2.6%; 美国国家公路交通安全局(NHTSA)调查显示, 因为疲劳驾驶导致的死亡人数占交通事故死亡总人数的 3.7%; 还有很大一部分原因为“采取措施不当”的交通事故也被怀疑为疲劳驾驶导致。由此可见, 疲劳驾驶是交通事故的一个主要原因。因此, 如何在驾驶中实时检测出疲劳的发生成为当前国内外研究的热点。

疲劳是由于体力或脑力劳动使人产生生理机能和心理机能失调的现象。驾驶疲劳是驾驶车辆时, 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技能低落的总称<sup>[1]</sup>。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, 甚至危及生命。因此, 对驾驶员疲劳的检测具有重要的现实意义, 应用要求十分迫切。

### 1 各种疲劳驾驶的检测方法

目前驾驶员疲劳特征的检测方法较多, 主要可以分为接触式和非接触式的检测两大类。

#### 1.1 接触式检测

接触式检测主要是通过附着于驾驶员身上的传感器检测驾驶员身体特征变化来检测疲劳驾驶情况。具体有脑电图检测和头部位置感应。疲劳产生的脑电变

化大脑皮层兴奋与抑制时, 其脑电图上的表现是不相同的。通过记录各种脑电波的幅频响应, 统计其分布, 可达到疲劳检测的目的; 疲劳时头部会经常向下倾斜, 利用传感器检测司机的头部位置可反映司机的疲劳状况。

接触式疲劳检测有着明显的缺点。首先, 设备需要与驾驶员有身体上的接触, 对驾驶员有干扰; 其次, 脑电图容易受外界因素的干扰且个体间的生理反映差距较大, 价格过高, 因此难以在实际中使用。

#### 1.2 非接触式检测

非接触式检测主要是通过非接触的传感器检测驾驶员身体特征变化或车辆状态来检测疲劳驾驶情况。车辆状态的检测主要是通过方向盘的状态检测以及道路追踪器来检测疲劳驾驶情况, 其中方向盘检测是根据驾驶员疲劳程度加深时, 方向盘的转动幅度次数会增多, 握紧方向盘的力量变大; 道路追踪器是通过安装在车辆上的摄像头检测车辆越过车道线的频率和时间来确定驾驶员的疲劳程度。这两种检测方法的准确率都不高, 只能作为辅助检测手段。驾驶员身体特征检测包括利用瞳孔计以及眼睛闭合百分比 PERCLOS 的检测。其中瞳孔计是检测某一段时间瞳孔直径的变化频率, PERCLOS 方法是检测某一段时间内眼睛闭合时间所占的比例。

<sup>①</sup> 收稿时间:2008-12-09

大量实验证明 PERCLOS 方法是准确率最高的检测方法，是被美国公路交通安全局(NHTSA)唯一认可的疲劳驾驶检测方法[2]。

## 2 PERCLOS原理及实现方法

### 2.1 PERCLOS 原理

PERCLOS 是 Percent Eye Closure 的缩写，指在一定的时间内眼睛闭合时所占的时间比例[3]。在具体试验中有 P70, P80, EM 三种测量方式。其中 P80 被认为最能反映人的疲劳程度。图 1 为 PERCLOS 值的测量原理图[4]。图中曲线为一次眼睛闭合与睁开过程中睁开程度随时间的变化曲线，可根据此曲线得到所需测量的眼睛某个程度的闭合或睁开持续的时间，从而计算出 PERCLOS 值。图中  $t_1$  为眼睛完全睁开到闭合 20%的时间； $t_2$  为眼睛完全睁开到闭合 80%的时间； $t_3$  为眼睛完全睁开到下一次睁开 20%的时间； $t_4$  为眼睛完全睁开到下一次睁开 80%的时间。通过测量出  $t_1$  到  $t_4$  的值就能计算出 PERCLOS 的值  $f$ 。

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

式中， $f$  为眼睛闭合时间所占某一特定时间的百分率。对于 P80 测量方式来说，我们认为当 PERCLOS 值  $f > 0.15$  时，认为驾驶员处于疲劳状态。

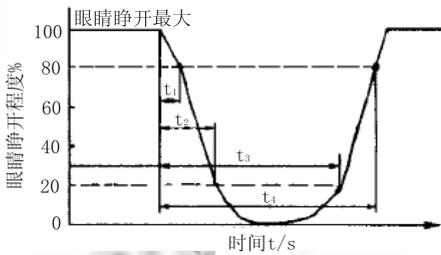


图 1 PERLOS 值的测量原理图

### 2.2 PERCLOS 实现方法及系统硬件构成

研究表明，视网膜对 850nm 波长红外线的反射率约为 90%，对 940nm 红外线的反射率约为 40%，面部其他位置对这两种波长红外线反射率相当[5]。用相同光照度的这两个波长的红外光源照射，同时采集到的两个波长的反射图像只有视网膜灰度不同，其它位置灰度基本完全相同。如将两幅图像相减，面部绝大部分区域灰度值接近于 0，只有视网膜的灰度比较

大，因此可方便地从脸部头像中找出眼睛的位置，并计算瞳孔的面积。

本文研究的 PERCLOS 疲劳检测系统硬件框图如图 2 所示：

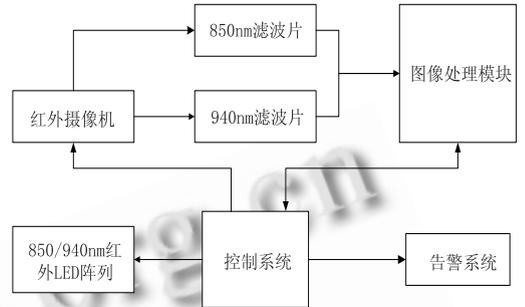


图 2 PERCLOS 疲劳检测系统硬件框图

红外灯阵列提供等光照强度的 850nm/940nm 红外光源；红外摄像机同时拍摄两个波长的司机面部反射图像；滤光片分别滤出 850nm 和 940nm 波长的反射图像；图像处理模块完成图像相减、眼睛位置跟踪、眼睛面积补偿和计算等；控制系统控制各模块的同步，控制红外灯阵列的光照强度；告警系统输出声光告警信息，提醒疲倦的驾驶员。

## 3 PERCLOS疲劳检测算法设计及实现

### 3.1 疲劳检测算法流程

本文研究的 PERCLOS 疲劳检测方法为：通过相同光照度的两个波长的红外光源照射，采集到两个波长的反射图像并且进行相减，经过二值化后将眼睛部分与脸部其他部分分开，从而进行眼睛面积的计算，统计一段时间内驾驶员眼睛闭合的时间所占的比例。在眼睛面积计算的同时，需修正驾驶员眼睛与检测设备距离相对变化引起的眼睛面积变化。疲劳检测算法的流程框图如图 3 所示。

在疲劳检测算法流程中，最为关键的是眼睛位置跟踪算法与眼睛面积修正算法。其中眼睛位置跟踪算法充分利用了眼睛与脸部其他部位对 850nm 和 940nm 波长反射率不同的特点，通过采集相同光照下这两个波长的反射图像，由于同时采集到的两幅图像只有眼睛部分灰度不同，其他位置灰度基本完全相同。因此通过相减运算，可将眼睛部分与脸部其余部分分离出来，从而为接下来的眼睛面积计算以及面积补偿算法提供基础[6,7]。

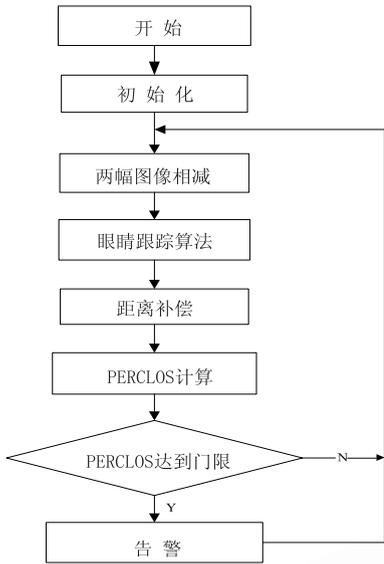


图 3 疲劳检测算法流程图

### 3.2 眼睛面积计算的补偿

在计算眼睛面积时，由于驾驶员头部相对于检测设备有位置移动，因此为了实现实时跟踪驾驶员眼睛位置并且计算面积，需要修正眼睛与检测设备距离相对变化引起的眼睛面积变化。

眼睛面积补偿算法包括训练过程和校正过程。其中训练过程是在初始几分钟，主要完成驾驶员眼睛的定位，正常双眼面积的计算；校正过程是一个三个自由度的几何运算，可以分解为三个单自由度的几何运算。

眼睛面积补偿算法原理如图 4 所示。

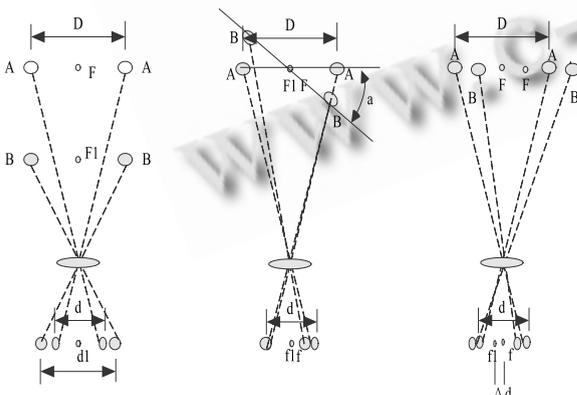


图 4 眼睛面积补偿算法原理图

(左图为前后运动；中间为转动；右图为左右运动)

如图所示：正常双眼位置为 AA，眉心 F，图像中

双眼间距  $d$ ，眉心  $f$ ；头部运动后双眼位置为 BB，眉心  $F1$ ，图像中双眼间距  $d1$ ，眉心  $f1$ 。

(1) 前后运动：眉心位置不变，双眼间距比例  $d1/d$ ，因此双眼面积与正常位置双眼面积比例应该为  $(d1/d)^2$ 。

(2) 转动：眉心位置不变，双眼与眉心的举例分别为  $dx$  和  $dy$ ，则双眼面积与正常位置双眼面积比例应该是  $(2 * dx/d)^2$  和  $(2 * dy/d)^2$ 。

(3) 左右运动：眉心位置移动距离  $\Delta d$ ，则双眼面积与正常位置双眼面积比例应该是  $(d - 2 \Delta d/d)^2$  和  $(d + 2 \Delta d/d)^2$ 。

## 4 实验结果及结论

### 4.1 实验过程及结果

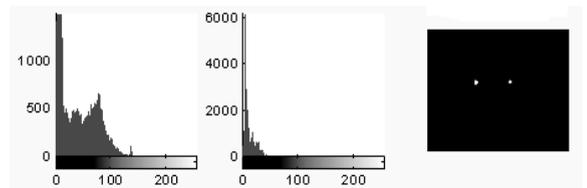
#### (1) 眼睛定位实验

本文基于上述疲劳检测算法，利用 MATLAB 对眼睛定位以及眼睛面积补偿过程进行了仿真实验。图 5 中从左到右依次为 850nm 波长反射图像、950nm 波长反射图像以及两幅图像进行差分的结果图。图 6 总从左到右依次为差分前的灰度直方图、差分后的灰度直方图以及将差分后图像二值化后得到的眼睛定位结果图。



(a)850nm 波长 (b) 950nm 波长 (c)差分图像  
反射图像 反射图像

图 5 双波长反射图像以及差分图像



a 差分前灰度直方图 b 差分后的灰度直方图 c 眼睛定位结果

图 6 差分前后灰度直方图以及眼睛定位结果图

#### (2) 眼睛面积误差补偿实验

由 MATLAB 图像处理工具箱中的 `bwarea` 函数计

算得知,图 6(c)中眼睛部分面积为 77.3755(图像眼睛部分的像素个数),并以此为初始情况下的眼睛面积。图 7 为另一时刻得到的眼睛定位结果图,经计算此时刻眼睛面积为 89.3578,与初始状态面积相比相对误差达到了 15.48%。经对比得到此时刻眉心位置不变,但眼睛间距发生了变化,因此可知此时驾驶员头部相对于初始情况发生了前后运动,造成眼睛面积的变化(面积明显变大),从而引起误差。基于上述眼睛面积补偿算法,经过眉心定位与对比,距离计算,最终得到补偿后眼睛面积为 79.4798,将相对误差降低到了 2.72%。可见经过眼睛面积补偿后,得到的眼睛面积能更真实的反映驾驶员的眼睛状态,能更准确地判断驾驶员的疲劳状态。

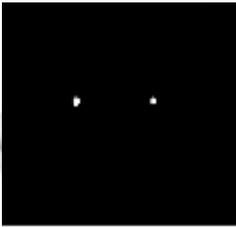


图 7 某时刻眼睛结果定位图(非初始状态)

## 4.2 结论

(1) 从实验过程可以看出,采用 850/940nm 双波长检测眼睛状态,经过将图像进行差分后图像的灰度值差别明显,便于提取眼睛部分图像,表明该检测方法有效。

(2) 从眼睛定位结果可以看出,采用本文所述方法对驾驶员眼睛状态进行检测,能有效地将眼睛与脸部图像其余部分分离,避免了背景环境的干扰,能准

确地定位眼睛位置并计算其面积,从而提高了 PERCLOS 计算的准确性和可靠性。

(3) 本系统采用机器视觉方法,并利用红外光源成像,避免了与驾驶员的直接身体接触,排除了环境光源的干扰,提高了装置的适用性,满足任何驾驶情况下对驾驶员状态的监测要求。

(4) 引入眼睛面积补偿算法,有效地解决了由于驾驶员头部运动造成的眼睛面积变化的问题,提高了系统检测的准确率。

## 参考文献

- 1 Stutts JC, Wilkins JW, Vaughn BV. Why do people have drowsy driving crashes. AAA Foundation for Traffic Safety, Washington, 1999.
- 2 PERCLOS: A Valid Psychophysiological Measure of Alertness As Assessed by Psychomotor Vigilance, Washington, Office of Motor Carriers, 1998.
- 3 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.中国农业大学学报, 2002,7(2): 104 - 109.
- 4 韩相军,梁艳荣,关永.基于 DSP 的嵌入式驾驶疲劳监测系统研究.公路交通科技, 2007,24(1):147 - 150.
- 5 刘志强,汪哓.驾驶员疲劳监测方法设计.农业机械学报, 2006,37(4):26 - 29.
- 6 徐飞,施晓红. MATLAB 应用图像处理.西安:西安电子科技大学出版社, 2002:101 - 123.
- 7 杨秋芬,桂卫华,胡豁生,周书仁.驾驶员疲劳驾驶中的眼睛定位创新算法.计算机工程与应用, 2008,44(6): 20 - 24.