

# 基于 PERCLOS 的驾驶疲劳监控方法进展

夏 芹, 宋义伟, 朱学峰

(华南理工大学自动化科学与工程学院, 广东 广州 510640)

**摘 要:** 以驾驶疲劳状态监测为研究对象, 介绍了疲劳检测方法现状, 主要阐述了PERCLOS的原理, 即依据单位闭合时间所占的百分比率, 判断驾驶员是否处于疲劳状态。论述了基于PERCLOS的司机疲劳监控方法研究的基本步骤和研究进展, 最后总结并得出本文结论。

**关键词:** 疲劳驾驶; PERCLOS; 研究进展

**中图分类号:** TP391.4    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1003-7241(2008)06-0043-05

## The Research Development on Driving Fatigue Based on PERCLOS

XIA Qin, SONG Yi-wei, ZHU Xue-feng

(College of Automation Science and Engineering South China University of Technology, Guangzhou 510640 China)

**Abstract:** This paper discusses the methods of monitoring the vehicle drivers' fatigue status. It mainly introduces the principle of PERCLOS, namely the percent of per closure time, which is used to judge whether the driver is in fatigue state. It also explains the steps of the research on driving fatigue based on PERCLOS and its research development.

**Key word:** Fatigue; PERCLOS; research development

### 1 引言

疲劳是由于过度的体力或脑力劳动引起的一种生理现象, 是人体正常的生理活动规律。在医学上, 疲劳被定义为人体困顿、倦怠的感觉, 是需要休息和放松的信号<sup>[1]</sup>。疲劳主要表现为瞌睡, 精力不集中, 人体的正常反应减慢, 交感神经活动减弱, 副交感神经增强等。疲劳表现出来的某些生理、心理和行为科学指标可以通过实验来测定。比如, 通过肌电图测定肌肉的疲劳现象, 通过脑电图、闪光融合频率测定脑力疲劳现象, 以及通过眼电图测定眼睛的视觉、觉方向和眼睛疲劳等。

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。在疲劳引发的事故之前, 驾驶员眨眼行为提前发生变化, 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监视驾驶疲劳是很适宜的方法。

眨眼的频率以及眼睑闭合的延长<sup>[2-8]</sup>, 眼睛闭合率 (每一定的时间里眼睑闭合的时间); PERCLOS, 即 Percentage of Eyelid Closure Over the Pupil Over Time<sup>[9-11]</sup> (眼睛闭合占特定时间的百分率), 头部运动, 脑电波以及眼睛的垂直运动<sup>[12-13]</sup>也都与疲劳状态有关。

其中 PERCLOS 是最具有潜力和最准确的疲劳测定方法之一。

### 2 PERCLOS 方法的优越性

下表<sup>[14]</sup>是各种测评方法的 Pearson 相关系数 (Pearson 相关系数就是简单相关系数, 即积差相关系数, 用来反映两个变量线性相关程度的统计量)

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; 以眼睛闭合时间占特定时间的百分率的平均值为评价指标;

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;

眼睛闭合时间占特定时间的百分率的平均值为评

收稿日期: 2007-12-27

价指标;

强研究有限公司的脑电图算法(consolidated Research Inc, EEG algorithm);

马克基的脑电图算法(Dr. Makeig's EEG algorithm);

监视装置测头部位置(a head-position monitoring device);

使用高级点阵传感器测量头部位置(Advance Array Sensing system);

使用仪器为MTI研究所的警觉监视器(MTI Research, Inc, Alertness Monitor);

使用仪器为IM系统有限公司的眨眼仪(IM System, Inc, Blink meter)

由表1可以看出,所有的方法都可以在不同程度上反映驾驶员的疲劳,而PERCLOS的P80标准与疲劳Pearson相关系数则可以更好的预测疲劳,所以在检测标准上,以监测瞳孔为手段的PERCLOS方法得到了较广泛的应用。

表1 各种测评方法的Pearson系数相关性

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

### 3 PERCLOS方法的原理与测量步骤

#### 3.1 PERCLOS原理

PERCLOS是在单位时间内眼睛闭合时间所占的百分比率。结合图1<sup>[15]</sup>说明一下PERCLOS的测量原理。

$f$ 代表眼睛闭合时间的百分率,即PERCLOS值; $t_1$ 是眼睛最大瞳孔闭合到80%瞳孔所用时间; $t_2$ 是眼睛80%瞳孔闭合到20%瞳孔所用时间; $t_3$ 是眼睛20%瞳孔闭合到20%瞳孔睁开所用时间; $t_4$ 是眼睛20%瞳孔睁开到80%瞳孔所用时间。

$$\text{PERCLOS 的值计算方法为: } f = \frac{t_3 - t_2}{t_4 - t_1} \times 100\%$$

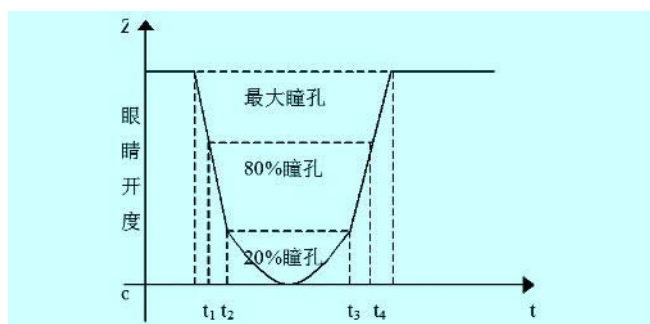


图1 PERCLOS的测量原理

#### 3.2 基于PERCLOS算法进行疲劳驾驶测量的步骤

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。图像预处理部分主要是对图像进行预处理,主要有增强图像对比度,增强人脸轮廓;图像二值处理,将人脸图像数据转化成二值图像数据,并检查图像噪音,去除影响人脸和眼睛检测的噪音。

采集的图像在数字信号处理器中采用相应的程序完成人脸定位、眼睛定位与跟踪,在人脸定位的基础上利用canny算子进行边缘提取定位眼睛,综合Kalman滤波和Mean Shift算法实现眼睛跟踪:

眼睛识别状态系统是采用模板匹配的方法,并以相似度衡量相似程度来识别眼睛状态,检测人脸和跟踪眼睛以及识别眼睛的状态,以确定驾驶员的疲劳状态,眼睛模板有左眼睁、左眼闭、右眼睁,右眼闭四种,每次找到眼睛后用这四种模板进行匹配,取相似度值最大的作为最终的眼睛状态<sup>[16]</sup>。

根据眼睛的开合状态PERCLOS值,并根据上述计算值,并根据上述值与事先设定的阈值进行比较判断出驾驶员的疲劳状态。当PERCLOS值大于40%,眼睛闭合时间持续大于3秒时,就认为属于疲劳驾驶,发出警告。

根据判断结果和进行相应的措施,刹车或报警。

#### 4 PERCLOS方法的研究进展

最早研究PERCLOS是美国弗吉尼亚大学精神生理学教授Walt Wierwille<sup>[17]</sup>,他是从20世纪70年代在弗吉尼亚大学开始眼睛研究光学变量与疲劳的关系,Walt

Wierwille博士提出的疲劳测量(physiological fatigue detection devices and measures)方法是采用PERCLOS作为疲劳测量指标。80年代到90年代的研究表明,疲劳与缺乏睡眠、瞳孔直径、注目凝视、眼球快速转动、眉眼扫视、眨眼睛以及其它因素有关,并且发现PERCLOS是最具有潜力的疲劳测定方法之一,其数据真正能够代表疲劳,是对疲劳进行测定的最好方法<sup>[17]</sup>。Dinges<sup>[14]</sup>认为,PERCLOS(单位时间内眼睛闭合时间所占的百分率)能相当准确地反映疲劳状态。1999年4月,美国联邦公路管理局<sup>[14]</sup>(Federal Highway Administration)的技术论坛上发表题为“Ocular Measures of Driver Alertness”的文章,首先提出了把PERCLOS作为预测机动车驾驶员驾驶疲劳的可行方法。John Stern博士是研究眼睛部位运动状态与驾驶疲劳之间的关系的权威人士。由他领导的美国联邦公路管理局和汽车联合会资助的研究所,通过开发专用的照相机、脑电图仪和其他仪器来精确测量眼睛瞳孔的直径变化、眨眼频率和头部运动,以此来研究驾驶疲劳问题。目前,PERCLOS方法已被公认为最有效的、车载的、实时的驾驶疲劳测评方法。

2000年1月明尼苏达大学的Nikolaos Papanikolaou<sup>[18]</sup>成功开发了一套驾驶员眼睛的追踪和定位系统,通过安置在车内的一个CCD(Charge-Coupled Device,电子耦合组件)摄像头监视驾驶员的脸部,实现以下功能:

- 1 用快速简单的算法确定驾驶员眼睛在脸部图像中的确切位置和其他脸部特征;
- 2 通过追踪多幅正面脸部特征图像来监控驾驶员是否疲劳驾驶;
- 3 追踪多幅侧面脸部特征图像来估算驾驶员是否疲劳驾驶。

2000年3月,他们对上述系统进行了改进,改用红外线彩色摄像头并加滤波器滤除图像的噪声和非脸部的图像,使搜索脸部图像的次数减少,加快了系统处理图像的速度。Mahler<sup>[19]</sup>等人使用多种方法综合监测驾驶员疲劳驾驶。他们使用的方法包括PERCLOS,道路跟踪和驾驶员生理状态变化。

Ji和Yang<sup>[20]</sup>提出一种使用多种参数(眼睑运动、瞳孔运动)测量的方法,Luis.M<sup>[21]</sup>等使用一个模糊分类器来联合六个参数(PERCLOS,眼睛闭合持续时间,眨眼频率,点头频率,脸部位置,凝视)来检测疲劳达到很

好的效果。几乎可以达到100%准确。

最近,在欧洲的e-Safety项目中开发了AWAKE<sup>[22]</sup>(System for Effective Assessment of Driver Vigilance and Warning According to Traffic Risk Estimation)的驾驶诊断系统。该项目的目的是得出驾驶员疲劳驾驶警示系统的技术可行性并且找到影响此系统的非技术问题。该系统也是联合了多种测量措施(包括司机状态和司机行为)并利用视觉传感器和方向盘操纵力传感器实时获取驾驶员信息,并利用人工智能算法判断驾驶员的状态(清醒、可能打瞌睡、打瞌睡)。这种方法非常全面并对将来疲劳驾驶检测的研究有深远的影响。

在国内也有多家研究机构利用PERCLOS原理开展了驾驶疲劳的研究。2001年郑培、周一鸣<sup>[23]</sup>提出了脸部活动图像识别的人脸皮肤色彩高斯模型,通过眼睛灰度模式匹配,成功地实现了驾驶员驾驶疲劳的测评,构建了基于PERCLOS的机动车驾驶员驾驶疲劳的实验测评系统。该系统初步具备了实时、非接触式检测的特性。

山东大学董文会<sup>[24]</sup>等提出一种基于图像处理的实时检测驾驶疲劳的方法,利用肤色信息、投影和连通域相结合的方法检测眼睛,通过动态模板匹配的方法对眼睛进行跟踪;最后利用上下眼睑距离来判断是否疲劳,实验表明,该方法可使眼睛定位和追踪的平均正确率达98%,疲劳检测的正确率为100%,准确率平均为90%。

江苏大学刘志强教授<sup>[25]</sup>等在这方面的研究取得很大的进展:(1)采用机器视觉方法对驾驶员的眼部进行跟踪、监测,避免了与驾驶员的直接身体接触。(2)利用红外光源成像,排除了环境光源的干扰,大大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,同时可以得到关于关键部位(眼部)的差分图像,提高了系统的实时处理能力。(3)利用神经网络辅助Kalman滤波器对采集的眼部特征参数进行处理,能够很好地实现对驾驶员眼部的跟踪和预测,有效地解决在驾驶员头部晃动的情况下识别眼部的问题,同时保证了系统的实时性。(4)系统采用了集成度高的CMOS摄像传感器和基于DSP处理器的控制主板,便于与车内原有电路集成。

近几年来,我国在机动车辆驾驶中驾驶疲劳测评方法的研究在理论上虽然已取得了一些成绩,但至今还没有研究出实用的产品,同发达国家相比还有相当大的差



距。因此,在我国应加大对对其研究的力度。

## 5 结束语

从以上分析可以得出,利用PERCLOS原理能很好的监测司机疲劳状态。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,因此,它的误判率较高;它是一种多重的非严格的对象跟踪,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;当头部没有正对摄像头时或者头发遮住部分眼睛,无法识别眼部特征;

驾驶员戴墨镜时无法进行PERCLOS检测。PERCLOS方法就会失效。此时摄像头难以得到驾驶员清楚的眼睛照片,使采用PERCLOS方法产生了一定困难。这时,可以采用多种疲劳判别方式的综合来提高判别的准确度,例如头部姿势以及汽车在行使时的横向速度的变化情况。而且由于驾驶环境不同,不同驾驶员个人差异很大,且每一种疲劳测量方法的侧重点不同,因此为了提高系统疲劳检测的有效性,多种疲劳判别方式综合判定是我们今后对系统改进的研究方向。

## 参考文献:

- [1] 邓金城.基于人脸识别技术的驾驶员疲劳检测方法研究[D].重庆大学硕士学位论文,重庆:重庆大学,2005:
- [2] G.C.DREW,Variations in reflex blink - rate during visual - motor tasks[J].quarterly journal of experimental psychology,1953.(3):73-88.
- [3] U.PFAFF,H.FRUSHSTORFER,and J.H.PETER,Change in eye blink duration and frequency during car driving.PflugersArchiv[J].Euro.J.Physiol,1976,(362),R21,
- [4] L.R.BEIDEMAN,and J.A.STERN,Aspects of the eyeblink duration and frequency during car driving.Pflugers Archiv[J].Euro.J.Physiol,1976.(362),R21.
- [5] J.A.STERN,L.C.WALTRTH,and R.GOLDSTERIN,The endogenous eye blink[J].Psychophysiology,1984,21(1):22-33.
- [6] H.KITAJINA,N.NUMATA,K.YAMAMOTO,and Y.GOI,Prediction of automobile driver sleepiness-1<sup>st</sup> report, rating of sleepiness based on facial expression and examination of effective predictor indexed of sleepiness[C].Trans. Japan Soc. Mech. Eng. C, vol. 63, no. 603, pp. 3059-3066, 1977 (in Japanese)
- [7] H.HAKKANEN,H.SUMMALA,M.PARTINEN,M.TIIHONEN,and J.SILVO,Blink duration as an indicator of driver sleepiness in professional bus drivers sleep[J].1999. 22(6):798-802
- [8] H.Summal,H.Hakkanen,T.Mikkola and J. Sinkkonen,Task effects on fatigue symptoms in overnight driving[J],Ergonomics,1999,42(6):798-806.
- [9] W,W,WIERWILE,L.A.ELLSWORTH,S.S,WREGGIT,R.J.FAIRBANKS,and C.L.KIRN, Research on vehicle-based driver status/performance monitoring: development, validation, and refinement of algorithms for detection of driver drowsiness[R],National Highway Traffic safety Administration Final Report, DOT HS 808 247, 1994.
- [10] D.F.DINGERS,M.M.MALLIS,G.MAISILIN and H.W.POWELL,Evaluation of techniques for ocular measurement as an index of fatigue and as the basis for alertness management[R].National Highway Traffic Safety Administration Final Report,DOT HS 808 762,1998.
- [11] L.HARTLEY,T.HORBERRY,N.MABBOT,and G.P.KRUEGER,Review of fatigue detection and prediction technologies[R].National Road Transport Commission of Australia,2000
- [12] W.R.MILES,Horizontal eye movements at the onset of sleep[R],Psychol.Rev,1992,(36):122-141.
- [13] DINGES DAVID F.PH.D.GRACE,Richard ph. d.PERCL0S;A Valid Psycho physiological Measure of Alertness As Assessed by Psychomotor Vigilance[D].Federal Highway Administration,office of motor carriers 1998
- [14] DINGES D F,GRACE R.PERCL0S:A Valid Psycho physiological Measure of Alertness as Assessed by Psychomotor vigilance[R].Washington:Federal Highway Administration,Office of Motor Carriers,1998.
- [15] QIANGJI,XIAOJIEYANG,RONGHU,et al.Anon-invasive multi-sensory technique for monitoring human fatigue[R].LasVegas:Computer Vision and Robotics Laboratory Department of Computer Science University of Nevada,2002.
- [16] W.W.WIERWILLE,L A ELL SWORT H,S S WREGGIT,et al.Researchon Vehicle Based Driver Status/ Performance Monitoring:Development,Validation,and Refinement of Algorithms for Detection of Driver Drowsiness [R].Final Report:DOT HS 808247,National Highway Traffic Safety Administration,1994.
- [17] R.BISHOP,R.BISHOP consulting.USA:Survey of Intelligent Vehicle Applications worldwide[C].Proceedings of the IEEE intelligent Vehicles symposium 2000.2000.10. pp.25-30
- [18] NIKOLAOS P.Vision-based detection of driver fatigue.[EB//OL]IEEE International Conferenceon Intelligent Transportation.http: www.fmcns.dot.gov1997.9
- [19] M.RIMINI-DOERING,D.MANSTETTEN,T.

(下转第39页)

匹配和人脸识别两个阶段对特征点的 Gabor 小波表示的要求是不同,二者应该区分对待;在弹性匹配阶段利用图像部分频段的信息来区分人脸图像的不同部位,而在人脸识别阶段利用全部有意义频段的信息来准确的表示图像。将对特征点定位有利的频率成分用于弹性匹配算法,将大幅度降低计算成本,提高识别算法的效率。

### 参考文献:

- [1] J.DAUGMAN.Uncertainty relation for resolution in space,spatial frequency and orientation Optimized by two-dimensional visual cortical filters[J].Journal of the Optical Society of America A,1985,2(7):1160-1169.
- [2] T.S.LEE.Image representation using 2D Gabor wavelets[J].IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1996,18(10):959-971.
- [3] L.WISKOTT,JM FELLOUS,N.KRUGER,and C.VON DER MALSBURG.Face recognition by elastic bunch

graph matching[J].IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1997,19(7):775-779.

[4] M.LADES,J.C.VORBRUGGEN,J.BUHMANN,J.LANGE,C.VON DER MALSBURG,R.P.WURTZ,and W.KONEN.Distortion invariant object recognition in the dynamic link architecture[J].IEEE Transactions on Computers,1993,42(3):300-311.

[5] P J PHILLIPS,H WECHSLER,J HUANG,et al. The FERET database and evaluation procedure for face-recognition algorithms[J].Image and Vision Computing,1998,16(5):295-306.

[6] PJ PHILLIPS,H.MOON,PJ RAUSS,and S.RIZCI. The FERET evaluation methodology for face recognition algorithms[J].IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2000,22(10):1090-1104.

作者简介:李云峰(1973 - ),男,讲师,博士,主要研究领域为人脸识别,机器学习,计算机视觉。

(上接第46页)

ALTMUELLER,U.LASDSTAETTER,and M.MAHLER, Monitoring driver drowsiness and stress in a driving simulator[C],in Proc.Int.Driving Symp.Human Factors in Driver Assessment,Training and Vehicle Design,2001.

[20] Q JI,and X.J.YANG,Real-time eye,gaze,and face pose tracking for monitoring driver vigilance[J],Real-Time Imaging,2002.(8):357-377.

[21] LUIS M.BERGASA,MIGUEL A.Sotelo,Real-time sestion for Monitoring Driver Vigilance[J],IEEE transations on intelligent transportation system,2006.7(1):63-77

[22] S.BOVERIS,Driver fatigue monitoring technolo-

gies and future ideas[C],in Proc.AWAKE Road Safety Workshop,Balocco,Italy,2004.

[23] 郑陪,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.

[24] 耿磊,吴晓娟,彭彰.基于 TMS320DM642 的疲劳检测系统硬件设计[J].中国工程科学2005,7(7).11-16.

[25] 刘志强.基于机器视觉的机动车驾驶员驾驶疲劳监测方法[J],中国制造业信息化,2006,35(3).20-25.

作者简介:夏芹(1982-),女,硕士研究生,研究方向:图像处理与模式识别。

(上接第52页)

谐波分布的影响规律。在电机驱动系统中,运用随机脉宽调制技术在减小谐波峰值,提高系统电磁兼容性上有着固定开关频率 PWM 技术不可比拟的优越性。不过在实际应用中,应注意开关频率  $f_s$  的变化范围,因此需对 R P W M 的随机增益认真选取优化选取。

### 参考文献:

[1] 熊聪颖,吴正国,马丰民.随机脉宽调制的 Simulink 仿真研究[J],海军工程大学学报,(2004):91-93

[2] 潘晓杰,刘涤尘.谐波抑制方法研究.阜阳师范学院学报(自然科学版)[J],2004(4):45-48

[3] 王建民,李永斌,朱倩影.基于 80C196KC 的随机脉冲位置 PWM 实现方法[J].电工技术,2002,(10):20-23

[4] KIRLIN RL et al,Power spectra of a PWM inverter with randomized pulse position[J].IEEE Trans.On pe,1994,9(5):463-473

[5] 孙清.数字信号处理(DSP)系统的正弦波发生器[D].辽宁:沈阳工业大学.2001.

作者简介:朱明秀(1984-),女,硕士研究生,研究方向:电力系统及其自动化。