

文章编号: 1005-8451 (2011) 02-0005-05

基于被动视觉的机车驾驶疲劳实时检测系统的研究

吴文娟

(广州铁路(集团)公司总工室, 广州 510088)

摘要: 实时检测机车乘务员的疲劳程度, 是提高机车运行安全的有效途径。本文提出一个基于被动视觉的车载机车驾驶疲劳时实检测系统。系统通过CCD摄像头获取驾驶状态下机车乘务员的图像, 然后运用图象处理技术进行人脸检测、眼睛定位等处理, 并提取眼睛的闭合度作为PERCLOS疲劳检测的依据。针对实时图像处理数据量大、运算复杂的特点, 采用TMS230DM 6437作为核心处理器进行了硬件实现。实验表明, 系统能准确实时地检测驾驶疲劳程度, 具有较好的实用性。

关键词: 机车驾驶; 疲劳检测; 安全驾驶; 计算机视觉; 数字信号处理

中图分类号: U264 : TP227 文献标识码: A

Research on Real-time Detection System of locomotive drivers' fatigue based on passive vision

WU Wen-xian

(Chief Engineer Office Guangzhou Railway Group Corporation, Guangzhou 510088, China)

Abstract: The real-time detection for the locomotive drivers' fatigue was an effective way to improve the security of locomotive driving. The Real-time Detection System of locomotive drivers' fatigue based on passive vision was proposed in this paper. Firstly, the color images of the locomotive driver were captured by CCD camera. Secondly, face detection and eyes location in the captured images were processed, and then the eye closure degree was picked up for non-contact detection of the locomotive driver's fatigue based on PERCOLS. Thirdly, considering large data and complex operation, a hardware implementation based on TMS230DM 6437 was put into practice. The experiments were validated the effectively, reliability and practicability of the System.

Key words: locomotive driving; fatigue detection; driving security; computer vision; DSP

铁路是陆地运输的主要途径之一, 安全运行则是铁路运输的生命线。美国联邦铁路管理局(FRA)的调查表明^[1], 在引发火车事故的诸多因素中人为因素引发的事故所占比例为38%。进一步分析发现, 在由机车乘务员责任导致的事故中驾驶疲劳所占比例高达30%~40%。随着列车运行的速度不断提高以及铁路营业里程的快速增长^[2], 机车乘务员值乘时面临的心理压力与劳动强度将加剧, 出现驾驶疲劳的可能性更大。因此, 研发车载机车驾驶疲劳实时检测系统具有现实意义。

1 机车驾驶疲劳分析

机车驾驶是一项综合性很强的技术工作, 属于感知型劳动。结合图1来说明, 机车驾驶的行为模式可划分为3个阶段即: 感知信息, 分析决策,

实施操作。乘务员在驾驶时不断感知外界的信息, 根据机车运行线路以及行车要求进行合理的操作, 并根据操作的反馈结果进行适当的调控。

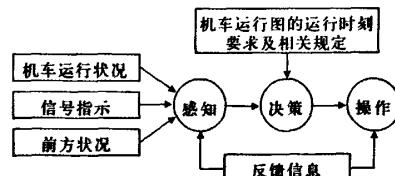


图1 机车驾驶的行为模式

由于机车乘务工作的特点和轮乘制度使得乘务员的睡眠不规律, 部分乘务员在值乘前即有疲劳蓄积现象^[6~9]。值乘时, 乘务员须时刻注视各种仪表状态, 瞭望轨道及周边情况, 观察信号指示, 过度用眼极容易产生视觉疲劳。同时, 乘务员还须随时应付可能出现的突发状况, 致使其精神上长期处于紧张状态, 易导致心理上的疲劳。机车乘务员在疲劳状态下一旦出现作业变更或突发状况,

由于思维缓慢和反应能力下降,不能及时地采取正确的操作,导致行车事故的发生。其典型的人为操作失误有^[12]: (1) 冒进/冒出信号。(2) 不遵守列车运行图规定的运行时刻和限速规定。(3) 遇有信号显示不明或危及行车和人身安全时不处置或处置不当。

2 系统方案选择

目前国内外针对汽车驾驶疲劳检测的研究较多^[3~4], 检测驾驶疲劳的方法分为主观先验检测法和客观实时检测法。

2.1 主观先验检测法

主观先验检测法通过事先调查驾驶员的工作时间、睡眠情况和身心状况等因素来推断驾驶疲劳,其结果的准确性取决于驾驶员的主观判断和所反映情况的真实程度。主观先验检测是目前广泛应用的疲劳检测方法,这种检测方法主观的人为的因素比较多,并不能杜绝疲劳驾驶行为。

2.2 客观实时检测法

客观实时检测方法借助科学仪器设备实时地检测驾驶员的驾驶行为和状态,根据仪器检测驾驶疲劳的方式不同可分为接触式检测法和非接触式检测法。

2.2.1 接触式检测法

接触式检测法利用接触式仪器,通过检测驾驶员的生理特征(如脑电波、心电信号、脉搏信号等)来反映人的疲劳状态,要求驾驶员在整个驾驶过程中佩戴检测仪器的传感器,加重了驾驶员的负担,如用脑电图(EEG)仪检测驾驶疲劳时需要在头上粘贴电极。

2.2.2 非接触式检测法

非接触式检测法的主流研究方向是通过视觉的方法来获取眼睛的状态作为判断驾驶疲劳的依据。其中视觉方法又分为主动视觉法和被动视觉法。主动视觉法通过发射不同波长的红外线照射人脸,利用视网膜对不同波长红外线的反射差异定位眼睛,再提取眼睛的状态。被动视觉法通过普通的电视摄像头被动地获取驾驶员驾驶时的人脸图像,运用图象处理算法提取眼睛的状态。图2为驾驶疲劳检测法的分类。

2.2.3 主动视觉法的分析

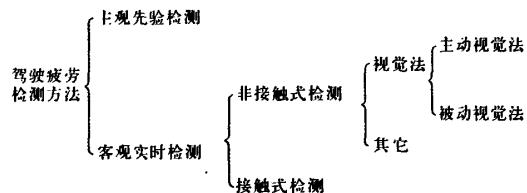


图2 驾驶疲劳检测方法的分类

主动视觉法的优点是能快速地定位眼睛,算法简单,缺点在于驾驶员在驾驶过程中始终被红外线近距离照射,容易产生心理障碍和抵触心理,影响行车安全。医学研究表明^[5],红外辐射会被眼睛晶体大量吸收,容易造成眼睛内部损伤,且由于眼睛晶体状细胞更新速度很慢,这种损伤在很长时间内难以恢复,长久性地损伤可能造成白内障的形成、视网膜变性等。被动视觉法要在复杂背景下,将特征相对不明显的人眼提取出来,所涉及的图像处理算法有较高的难度。然而,运用被动视觉法的检测系统不发射任何有害射线,对乘员零干扰,对人体完全无害。

基于以上分析,本文采用被动视觉法来解决机车驾驶疲劳的检测问题。

在机车驾驶疲劳检测领域,国内还停留于研究乘务员的驾驶时间、生理、心理状况等与驾驶疲劳之间的关系^[6~9]。国外也没有开发出成熟的实时检测系统,应对机车驾驶疲劳的措施主要是从管理计划出发,例如FRA通过运用疲劳模型来安排乘务员的工作时间^[11]。

2.3 硬件组成

本文设计的基于被动视觉的机车驾驶疲劳实时检测系统(以下简称:疲劳检测系统)由普通CCD摄像头和DSP图像处理盒组成。CCD摄像头通过视频电缆与DSP图像处理盒相联接;DSP图像处理盒通过RS422电缆与机车安全综合系统相联接。CCD摄像头获取机车乘务员驾驶时的图像,针对获取的图像运用图像处理技术提取眼部的疲劳特征,采用PERCLOS(眼睛闭合时间占特定时间的比例)^[10~11]方法的P80标准评测疲劳程度,设计了一种基于被动视觉的非接触式机车驾驶疲劳检测方法(以下简称:疲劳检测算法)。最后,根据系统处理图像信息量大、运算复杂的特点以及车载运行的实际要求,采用TMS230DM 6437作为核心处理器进行了硬件实现。

3 软件设计

3.1 算法流程

疲劳检测算法先对CCD摄像头采集到的图像检测人脸,若持续10帧没有检测到人脸则算法判断为人脸缺失。检测到人脸后,在人脸上进行基于Mask的投影方法定位眼睛,获得眼睛窗口后则提取眼睛的闭合度作为PERCLOS评测疲劳的依据。若计算得到的PERCLOS值大于阈值则算法判断为驾驶疲劳,否则继续对下一帧图像进行相同处理。算法流程如图3。



图3 机车驾驶疲劳检测算法流程图

3.2 人脸检测

人脸检测^[13~15]通常利用人脸颜色信息、运动信息、头部形状信息以及人脸纹理信息,或者综合利用这些信息。

3.3 眼睛定位

眼睛定位是在已获得的人脸框上定位眼睛区域,作为提取眼睛闭合度的处理对象。其常用的方法有灰度投影法,对称变换法,模板匹配法,Hough变换法,支持向量机(SVM)法、Gabor变换法、基于遗传算法和决策树的眼睛定位方法等^[16~18]。文中采用了一种基于面具的综合积分投影方法定位眼睛,其处理的过程如图4。



图4 基于Mask投影定位眼睛的过程图

本文在进行投影定位眼睛前,利用人脸的二值图像生成人脸的面具(Mask)如图5(b),然后综合利用眼睛的灰度特征和边缘特征在面部中比较突出的特点,对面具内的人脸边缘图像和暗点的二值图像进行水平投影,以确定眼睛的纵向位置。图5(c)为眼睛的纵向定位结果,其中,白线内为眼睛的纵向定位结果。在纵向定位和面具的交集内,再进行垂直投影,并最终定位眼睛。图5(f)为眼睛的横向定位结果,其中白线框为最终获得的眼睛窗口。在眼睛定位过程中,面具起到了抗干扰的作用。



图5 眼睛定位的结果图

3.4 PERCLOS 介绍及疲劳判断

最早研究PERCLOS是美国弗吉利亚大学精神生理学教授Walt Wierwille^[19],后来美国联邦公路管理局和美国国家公路交通安全管理局通过模拟实验综合比较了9种疲劳检测指标,一致推荐把PERCLOS作为预测机动车驾驶员驾驶疲劳的可行方法。PERCLOS有P70、P80和EM(EYEMEAS)3个评价标准,其中P80标准(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)与疲劳程度有更好的相关性。下面以P80标准为例,结合图6说明PERCLOS的基本原理:

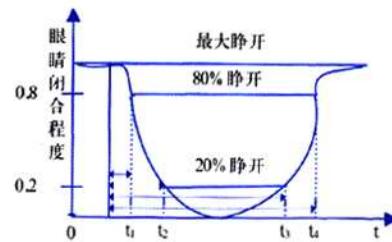


图6 基于PERCLOS的测量原理

$$PERCLOS = \frac{t_3 - t_2}{t_4 - t_1} \times 100\% \quad (1)$$

设定采样周期为 20 帧/s, 采集的图像通过上述的算法处理后, 可获得每帧图像中乘务员的眼睛闭合度。若连续的帧中, 眼睛闭合度小于 0.2 的帧数为则可表示为:

$$PERCLOS = \frac{k}{n} \times 100\% \quad (2)$$

为兼顾算法识别驾驶疲劳的漏检率和误判率, 采取统计连续 3 次检测的值, 若 3 次中有 2 次的值大于, 则算法判定为乘务员处于驾驶疲劳状态。

4 硬件设计

疲劳检测系统的硬件结构如图 7, 由视频图像采集、图像处理、外部存储器扩展、以及电源与时钟管理等 4 个模块构成^[20-21]。

4.1 视频图像处理器

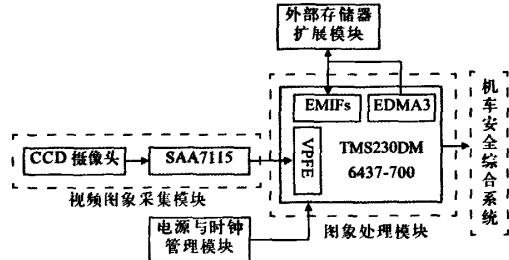


图 7 疲劳检测系统的硬件结构图

疲劳检测系统满足实时性的要求关键在于 DSP 图像处理器。研究发现, 人在正常情况下每分钟眨眼为 10 次~15 次左右, 随着疲劳程度的增加, 眨眼的次数也会升高。若要很好地捕捉眼睛的闭合过程, 对视频图像的采样必须达到 20 帧/s 以上, 这就要求系统必须在 50 ms 内完成对一帧图像的全部处理。同时, 机车驾驶室的环境要求系统具有体积小、噪音小、低功耗等特点。

TMS230DM 6437^[22]是针对视频图像处理的高性能数字媒体处理器, 能很好地满足系统的要求。它建立在 C64x+ 核的基础上, 基于第 3 代高性能超长指令字结构 VeloceTTM, 在 700 MHz 的时钟频率下, 每秒可以进行 28 亿次 16 位的乘累加或 56 亿次 8 位的乘累加, 满足实时图像处理的需求。C64x+ 核具有可灵活操作的高速控制器, 优越的

数据并行处理能力, 64 个 32 bit 的通用寄存器以及 8 个高度独立的功能计算单元, 提高其处理视频和图像的性能。TMS230DM 6437 内置了一个视频处理子系统 (Video Processing Sub System, VPSS), 具有两个可配置的视频处理前端和处理后端, 通过合理的配置可以灵活地获得系统需要的视频/图像格式, 从而能够实现与视频解码器、图像传感器等之间的无缝连接。同时, TMS230DM 6437 还集成了丰富的外围设备和接口。

4.2 视频图像的采集

CCD 摄像头根据视频制式的不同通常分为 PAL 制式与 NTSC 制式, 采样速率分别为 25 帧/s 和 30 帧/s (向下可调)。为方便后续的图像处理, 采集的图像视频信号经过 SAA7115H 转换为 YUV 4:2:2 格式数字视频信号。

4.3 视频图像的存储与传输

若采集图像时选择的分辨率为 640 × 512, 每个图像采样点的灰度级为 8 位, 则一帧图像所占的存储空间约为 0.3 Mb。图像在处理过程中获取的中间结果比较多, 存储一帧图像以及与其相关的中间约需 2 Mb, 使用 TMS230DM 6437 的外部存储接口 (EMIFs) 最大可扩展 310 Mb 的存储空间, 显然能满足系统存储的要求。TMS230DM 6437 通过增强 64 通道的直接存储器访问控制器 (EMDAC) 控制数据传输, 数据传输可以在片内存储器、片外存储器以及外设之间进行, 增强的 64 通道 DMA 传输可以提供 2 Gbit/s 以上的持续带宽。采集的 YUV 4:2:2 格式数字视频信号经过 VPSS 的前端接口由 EMDAC 传输至外部存储器扩展模块, 处理器需要调用时再通过 EMDAC 控制。

4.4 软件开发环境

本文设计的疲劳检测算法在 PC 机上采用 VC6.0 进行开发。开发完成后, 通过一个集成的 DSP 软件开发平台 (Code Composer Server, CCS) 将疲劳检测算法移植到 DSP 中, 并利用 CCS 对算法进行调试和代码优化等工作。由于 CCS 提供了实时分析调试和数据可视化功能, 从而大大降低了系统开发的难度, 加快了系统开发的周期。

5 实验结果

实验在某实际路段进行, 全路段的运行时间

为4 h45 min。将疲劳检测系统安装在机车驾驶室之后,调整好CCD摄像头的视角,启动运行系统。根据驾驶疲劳产生的规律,驾驶员往往在驾驶1 h之后疲劳感逐渐增强,所以实验在机车运行1.5 h后抽取10 min的乘务员驾驶视频作为实验样本,之后每隔1 h抽取一次。系统定位眼睛与检测疲劳的准确率如表1。

表1 眼睛定位与疲劳检测的准确率

实验样本	采样图像(帧)	眼睛定位(%)	疲劳检测(%)
样本1	1 199	98.4	89.6
样本2	1 198	97.3	92.3
样本3	1 200	92.8	90.7
样本4	1 199	94.7	94.1
平均值	1 199	96.0	91.7

6 结束语

基于被动视觉的机车驾驶疲劳检测系统实现了准确、实时、非接触地检测乘务员的驾驶疲劳,满足了机车车载的要求。系统采用PRERCLOS评测方法,能使乘务员的驾驶疲劳还处于前期时就被检测;开发了基于TMS230DM 6437的硬件平台,满足实时处理图像的要求,具有较好的实用性。系统在检测驾驶疲劳的准确率以及与机车运行综合系统的融合等方面还有待改进。目前,我国铁路发展已进入“快车道”,机车驾驶疲劳监测系统有着现实需求及广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] National Rail Safety Action Plan Final Report 2005-2008, Federal Railroad Administration, 2008.
- [2] 铁道部,《中长期铁路网规划(2008年调整)》, <http://www.china-mor.gov.cn/>, 2008.
- [3] R.BISHOP, R.BISHOP CONSULTING. USA: Survey of Intelligent Vehicle Applications worldwide [C]. Proceedings of the IEEE intelligent Vehicles symposium 2000.2000, pp: 25-30.
- [4] 宋义伟,夏芹,朱学峰.驾驶员疲劳监测方法研究的进展[J],信息技术,2007(4): 31-33.
- [5] 龙待安.警惕光污染损害您的眼睛[J].光与照明,2001(2): 20-21.
- [6] 辛鹏,李铭.铁路列车员疲劳程度的调查[J].中国行为医学科学,2004,13(1): 88-89.
- [7] 郑秀玲,宋少峰.客运机车乘务员视觉功能状况的研究[J].中国行为医学科学,2006,15(9): 834-835.
- [8] 储钢,徐晓梅,李新海,卢玉川.铁路机车乘务员的驾驶疲劳调查[J].环境与健康杂志,2008,25(12): 1098-1100.
- [9] 张锐.基于双核DSP的列车司机驾驶疲劳检测系统研究[D].长沙:中南大学,2008.
- [10] W.WIERWILE,L.A.ELLSWORTH,S.S.WREGGIT,R.J.FAIRBANKS,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.
- [11] Dinges D F, Grace R. PERCLOS: A valid Psycho physiological measure of alertness as assessed by psychomotor vigilance. <http://fhwa.dot.gov>.1998-10.
- [12] 铁道部,2007铁路技术管理规程[Z].2007.
- [13] Li.S.Z.Jain, A.K.Springer.Hand book of face recognition. Science Business Media, Inc.2005
- [14] Jones M.J, Rehg J M. Statistical Color Models with Application to Skin Detection.
- [15] Anil K. Jain, Face Detection in Color Images. IEEE TRANS. PAMI, 2002, 24(5): 696-706, 2002.
- [16] FH Tivive, A Bouzerdoum. A fast neural-based eye detection system [J]. Proceedings of 2005 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, 2005, ISPACS, 641-644.
- [17] T Kawaguchi, M Rizon, D Hidaka. Detection of eyes from human faces by Hough transform and separability filter [J]. Electronics and Communications in Japan, 2005, 88(5): 29-39.
- [18] K Peng, L Chen, S Ruan, G Kukharev. A Robust Algorithm for Eye Detection on Gray Intensity Face without Spectacles [J]. Journal of Computer Science and Technology, 2005, 5(3): 127-132.
- [19] Federal Highway Administration. Commercial Motor Vehicle Driver Fatigue and Alertness Study. <http://fhwa.dot.gov>. 1999-11.
- [20] 彭军,何伟峰,杨迎泽.嵌入式列车司机驾驶疲劳检测系统设计[J].计算机工程与应用,2009,45(33): 57-59.
- [21] 任晓青,王明,周晓海.基于TMS320DM643的驾驶员疲劳检测系统的实现[J].计算机技术与发展,2009,19(11): 242-245.
- [22] TM320DM6437 Digital Media Processor. Texas Instruments Incorporated. <http://www.ti.com/>, 2006.