

# 驾驶员疲劳检测系统设计

颜伟<sup>1</sup>, 王海涛<sup>1</sup>, 黄斌<sup>1</sup>, 宿海燕<sup>2</sup>

(1. 南京航空航天大学自动化学院, 南京 211016; 2. 山东烟台通用照明有限公司, 山东烟台 264006)

**摘要:** 以 DM642 为主控芯片设计了一套驾驶员疲劳检测的硬件系统, 包括主控器模块、视频采集模块、视频输出模块和报警模块等相关电路; 综合国内外的研究现状, 确定了疲劳状态判断的理论基础; 交叉运用图像处理技术、人脸检测技术和 PERCLOS 疲劳检测方法, 根据眼睛的疲劳特征, 实时判断驾驶员的疲劳状态, 进行报警, 有效防止交通事故的发生; 经过对系统的软硬件测试, 结果表明, 该方案可以有效地识别出驾驶员的疲劳状态, 运行速度快、实时性好, 具有较高的鲁棒性。

**关键词:** 疲劳检测; DM642; 机器视觉; 图像处理

## Design of Driver Fatigue Detection System

Yan Wei<sup>1</sup>, Wang Haitao<sup>1</sup>, Huang Bin<sup>1</sup>, Su Haiyan<sup>2</sup>

(1. College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautic and Astronautics, Nanjing 211016, China;

2. Yantai General Lighting Co., Ltd., Yantai 264006, China)

**Abstract:** A hardware system for driver fatigue detection is designed based on DM642, which includes master controller module, video capture module, video output module, alarm module and other related circuits. Based on the research status at home and abroad, the theoretical basis of fatigue state judgment is determined. The eye fatigue characteristic was combined with image processing technology, face detection technology and PERCLOS fatigue testing method to judge the fatigue state of the driver in real time. If in a state of fatigue, an alarm is issued, which can effectively prevent the occurrence of a traffic accident. After the testing of system hardware and software, The results show that the scheme can effectively identify the fatigue state of the driver, and it has high speed, good real-time and high robustness.

**Keywords:** fatigue detection; DM642; machine vision; image processing

## 0 引言

现阶段, 随着人均汽车持有量的不断上升, 交通事故也愈发得频繁。在全国乃至全球范围内, 疲劳驾驶是交通事故发生的主要原因之一<sup>[1]</sup>。如果能实时检测出驾驶员的疲劳状态, 在驾驶状态出现异常时及时用声光等信号来提醒驾驶员, 就可以有效地提高行车安全。

本文采用主动式红外成像方法, 摄取驾驶员的面部信息, 并将该信息存储在 SDRAM 中进行图像处理, 根据疲劳状态下眼睛的特征, 实时判断驾驶员的疲劳状态, 并进行报警, 有效防止交通事故的发生。

## 1 疲劳检测的基本原理

驾驶疲劳是驾驶机能失调的综合反映, 包括主观机能和客观机能、心理机能和生理机能的总称<sup>[2]</sup>。

本系统采用的方法是主观检测, 以驾驶员眼睛的相关特征作为检测依据, 因此, 对人脸的定位和眼睛的疲劳特征确定做了详细的理论研究。

### 1.1 人脸检测的理论基础

AdaBoost 是最优秀的 Boosting 算法之一, 有着坚实的理论基础, 在实践中得到了很好的推广和应用<sup>[3]</sup>。

本文使用 Adaboost 算法, 对大量的弱特征进行统计学习, 循环迭代多次训练出弱分类器, 并聚合大量的弱分类器形成强分类器, 并最终融合为级联分类器。该方法可以有效地提高人脸检测的速度和正确率。

### 1.2 眼睛的疲劳特征确定

根据国内外针对疲劳的生理反应的研究, 疲劳状态最有效的判据是眼睛的闭合时间所占的百分比, 即 PERCLOS 标准。PERCLOS 的全称是 Percentage of Eyelid Closure Over the Pupil Over Time<sup>[4]</sup>。

基于 PERCLOS 标准检测的方法和原理是: 首先, 使用摄像头获取驾驶员的面部图像信息, 通过图像处理方法定位眼睛, 并分析和识别眼睛的开闭状态。根据相关生理学研究, 瞳孔张开程度小于 20% 认为是为闭合, 而大于 20% 认为是睁开, 眼睛的闭合比即是单位时间内眼睛闭合的时间所占的百分比<sup>[5]</sup>。

通常 PERCLOS 方法有三种标准:

P70: 指眼睑遮住瞳孔的面积超过 70% 就认为眼睛闭合。

P80: 指眼睑遮住瞳孔的面积超过 80% 就认为眼睛闭合。

EM: 指眼睑遮住瞳孔的面积超过一半就认为眼睛闭合。

根据 NHTSA 对此方法的实验, 表明与疲劳发展程度的相关性最好的是 P80 标准。

PERCLOS 的测量原理可见图 1: 通过  $t1 \sim t4$  的值就可计算出 PERCLOS, 计算公式如 1 所示:

$$f = \frac{t3 - t2}{t4 - t1} \times 100\%$$

收稿日期: 2016-10-28; 修回日期: 2016-11-25。

基金项目: 江苏省重点研发(社会发展)项目(BE2015725); 国家质量监督检验检疫总局公益性行业科研专项(2015424068); 烟台开发区科技发展规划项目(201416)。

作者简介: 颜伟(1989-), 男, 江苏淮安市人, 硕士研究生, 主要从事仪器仪表方向的研究。

王海涛(1968-), 男, 江苏溧阳市人, 教授, 博士研究生导师, 主要从事电磁、超声、激光超声检测技术、无损检测技术的研究。

其中  $f$  代表眼睛闭合时间的百分率，即 PERCLOS 的值。

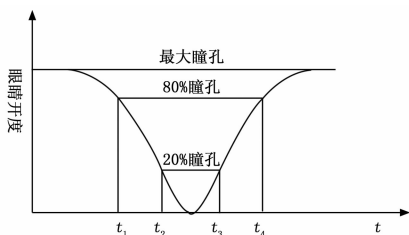


图 1 PERCLOS 测量原理图

## 2 疲劳驾驶检测系统设计

本检测系统设计包括硬件系统和软件方案的设计两部分。

### 2.1 硬件系统

硬件系统主要由主控制器、视频输入模块、视频输出模块和报警模块等构成。

#### 2.1.1 系统信号的传输过程

图像信号在系统中的传输过程如图 2 所示。

首先，驾驶员的面部图像经摄像头采集后送到视频编码器，在视频编码器中将模拟信号转换成 8 位数字信号并送入 DM642 内，然后依次完成人脸和眼睛的检测算法，最后将处理后的图像传输到数模数模转换装置将 8 位数字信号转换为电信号，并由图像传感器输出，并在显示器上实时显示。

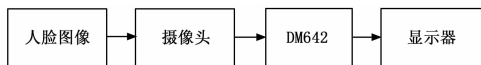


图 2 信号流程图

#### 2.1.2 主控制器

本文综合考虑了市面上多媒体开发类的处理器，对性能、成本、功耗等作了较为详细的比较，主控制器采用 TI 公司生产的 DM642，运行速度快、性价比高。

DM642 全名 TMS320DM642 是 TI 公司 C6000 系列 DSP 中最新的定点 DSP 芯片。TMS320DM642 系列芯片是数字媒体处理的最佳芯片选择。DM642 时钟频率高达 600MHz，运算速度可达 4800 MIPS，从而可以有有效的缩短数据处理的时间。此外它的片上外围模块资源非常丰富，包含有一个外部存储器扩展 EMIFA、3 个视频端口 VP0~VP2、I2C 总线、以太网控制器 EMAC 和多通道缓冲串行口 McBSP 等相关资源<sup>[6]</sup>。

主控制器的设计包括 DSP 的最小系统和存储器模块，包括电源模块、时钟模块、JTAG 模块、EMIF 存储器扩展模块以及模块这几部分组成。

整个电路板采用 +12V 电压供电，并由此提供 DM642 外围 IO 电压 +3.3V、DM642 CPU 内核电压 +1.4V、告警蜂鸣器电压 +5V 和摄像头电压 +12V。电源模块采用 LM2596 系列 DC-DC 芯片，功耗低、性能稳定。电源模块详细电路见图 3~图 6。

由于晶振的工艺和成本原因，做不到很高的频率，因此在需要使用高频时，通过使用锁相环 (PLL) 技术来提高系统的时钟。DM642 的工作时钟是 600 MHz，故采用 50 MHz 的外部晶振，并经片内的锁相环进行 12 倍频，以此提供主控制器的工作时钟。

JTAG 是联合测试工作组的简称，主要用于芯片内部的编程和测试。仿真器接口的一端连接到 DM642 的 JTAG 端口，

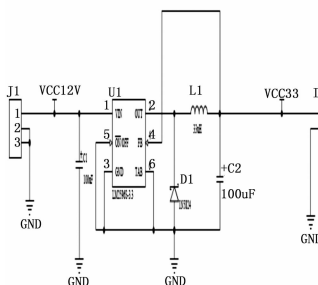


图 3 +3.3V 电压

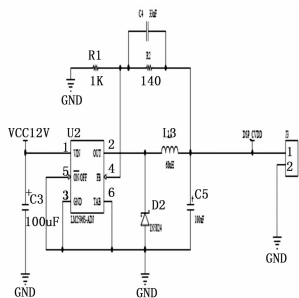


图 4 +1.4V 电压

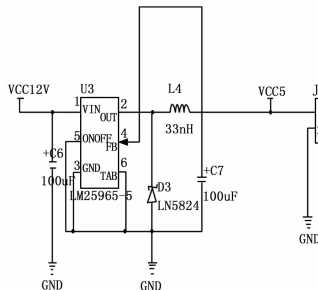


图 5 +5V 电压

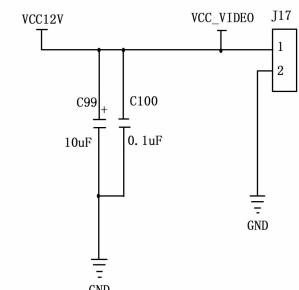


图 6 +12V 电压

另一端连接到 PC 机，PC 机与 DM642 通过仿真器进行通讯。

DM642 有三种启动模式：no boot、host boot、EMIF boot，并由地址线 AEA [22: 21] 的高低电平来决定。启动模式见表 1。

表 1 DM642 的启动模式

AEA[22:21]	启动方式
00	no boot(default)
01	host boot
10	preserved
11	EMIF boot

无启动方式 (no boot)：没有使用启动模式，CPU 直接从内存的 0 地址开始执行。

主机启动方式 (host boot)：此模式下，外部主机首先通过主机接口初始化 CPU 的内存空间，然后 CPU 开始从内存的 0 地址处执行。

EMIF 启动方式：由于本系统需要脱机使用，所以采用 EMIF 启动方式，即将地址线 AEA22 和 AEA21 分别通过 1 个 1kΩ 的电阻接到 +3.3V 电源上。

DM642 的 TOUT1/LENDIAN 引脚作为芯片 Endian 模式的设置引脚。配置模式见表 2。

表 2 DM642 的节点模式

TOUT1/LENDIAN	启动方式
0	大节点
1	小节点(默认)

EMIF 规定了外扩模块的时钟频率，本款 DSP 通过与地址线 AEA [20: 19] 复用的 AECLKIN\_SEL [1: 0] 引脚进行配置。

因为本系统需要处理大量的图像信息，因此必须扩展外部存储单元。本系统通过 EMIF 接口 (外部存储器接口) 扩展了 4M×64bit 的 SDRAM 和 4M×8bit 的 FLASH。

总线缓冲器采用芯片 74LVTH16245, 对 DM642 的数据总线 TED0~TED15、地址总线 TEA3~TEA22 和 EMIF 接口的控制总线 TSDRAS#, TSDCAS#, TSDWE# 进行暂存缓冲。详细电路图见 图 7。

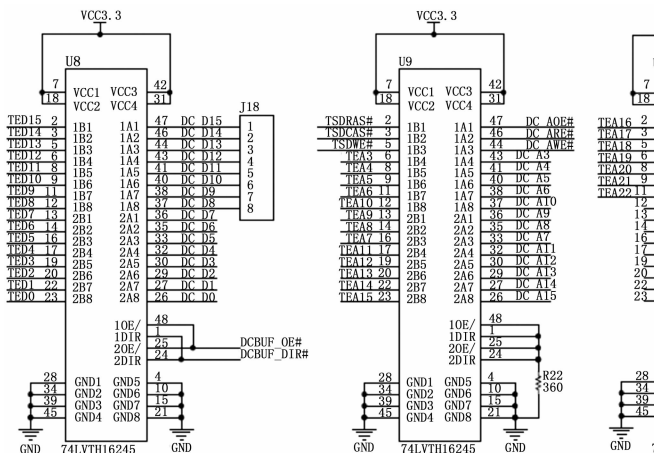


图 7 总线缓冲器

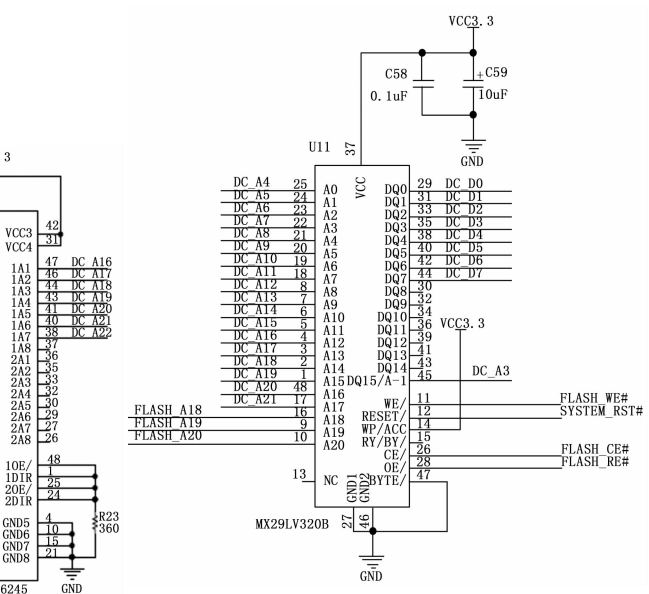


图 9 外扩 FLASH

EMIF 接口共有 4 个存储器映射空间, CE0、CE1、CE2、CE3。SDRAM 可映射到任意一个空间, FLASH 只能映射到 CE1 空间, 且必须是 8 位 FLASH。本系统中, SDRAM 映射到 CE0 空间, FLASH 映射到 CE1 空间。详细电路见图 8~图 9。

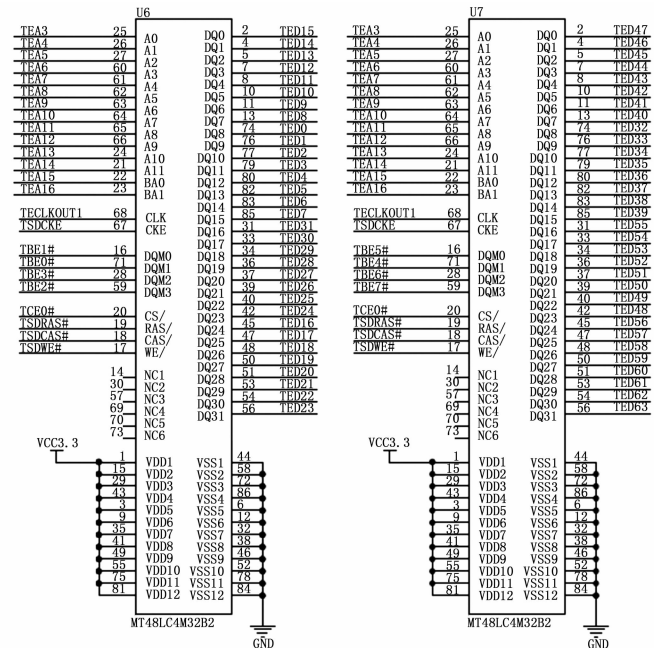


图 8 外扩 SDRAM

字编码芯片以其兼容性好、配置简单等优点成为了本系统模拟数字化的首选。

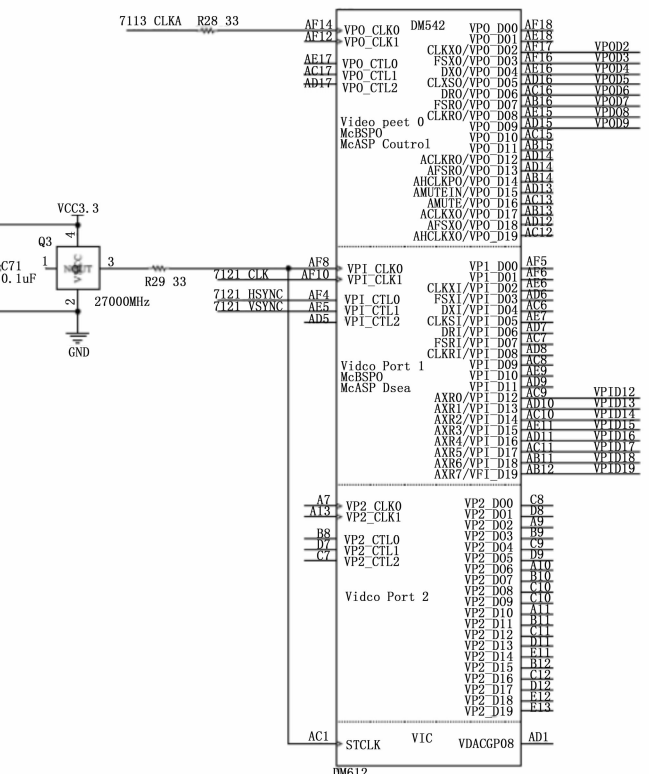


图 10 视频端口

### 2.1.3 视频输入和输出模块

DM642 提供了 3 个视频输入\输出接口, VP0、VP1 和 VP2。现将 VP0 作为视频输入接口, VP1 作为视频输出接口。DM642 的视频端口见图 10。

#### 1) 视频输入模块

本设计中采集端口使用 DM642 的 VP0, 遵循 8-bit BT.656 模式<sup>[7]</sup>。

本系统采用的是模拟摄像头, 因此需要使用“A/D”器件将模拟视频信号进行数字化。飞利浦公司生产的 SAA7113 数

本模块电路如图 11。

#### 2) 视频输出模块

本设计中输出端口使用 DM642 的 VP1 口, 使用 8-bit BT.656 模式。BT.656 模式输出 8-bit 4:2:2 格式的亮度和色度复合数据。数据输出采用了编码芯片 SAA7121 来完成。

当满足视频输出阈值要求时, 视频输出模块就会使用三个事件标志 (YEVT、CbEVT 和 CrEVT) 来告知 EDMA 控制

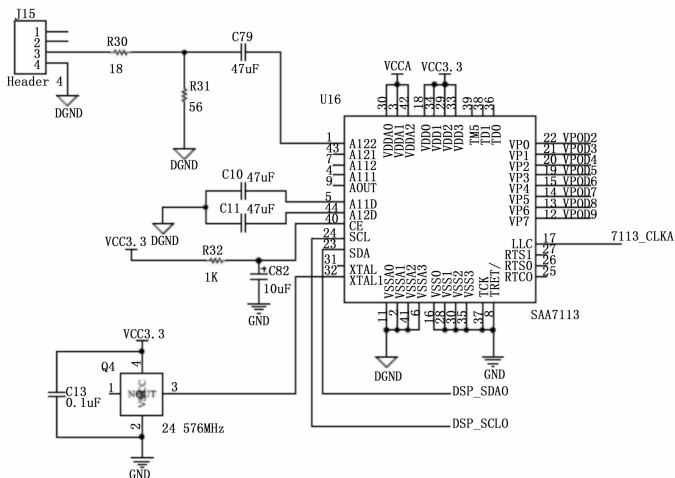


图 11 视频输入模块

器，由 EDMA 负责将 Y、Cb 和 Cr 数据分别转移至相应的输出 FIFO，并最终整合成 YCbCr 数据流<sup>[8]</sup>。

本模块电路如图 12。

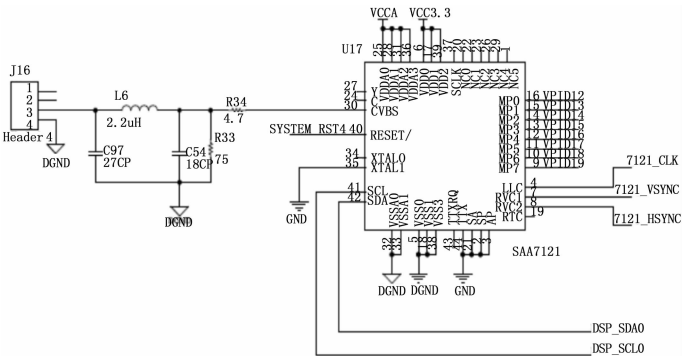


图 12 视频输出模块

### 2.1.4 报警模块

当系统检测到驾驶员正处于疲劳驾驶的危險状态时，为了提醒驾驶员作出调整，报警模块会实时地发出声音报警，并根据疲劳程度调节报警信号的强度。

本系统采用三极管驱动蜂鸣器来产生声音报警信号。本模块电路如图 13。

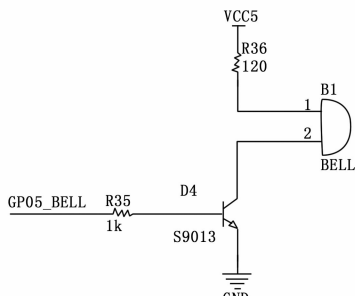


图 13 报警模块

## 2.2 软件方案

软件方案流程见图 14。

图像预处理采用的是中值滤波以及直方图均衡化。中值滤波目的在于对图像进行消除噪声处理；直方图均衡化是在图像中像素个数多的灰度级进行拓宽，对像素个数少的灰度级进行缩减。

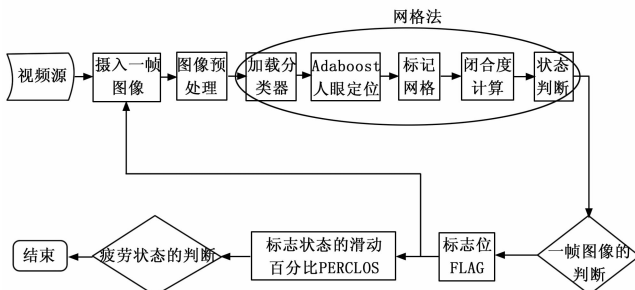


图 14 软件流程

采用 Adaboost 算法定位人眼区域，该算法利用的是 Haar 矩形特征，可以用来定位人眼，还可以定位人脸，只要将人眼的分类器改成人脸的分类器，而分类器文件则是通过自行选取正反样本进行训练得到。

人眼状态判断的方法采用的是“网格三分法”，精确定位到人眼区域后，用矩形框进行标记，并对该区域进行二值化、像素值计算、阈值设定等操作。

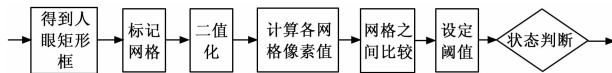


图 15 眼睛状态的判断流程

通过 PERCLOS 原理中的 P80 准则进行疲劳判断，即眼睑遮住瞳孔的面积超过 80% 就计为眼睛闭合，统计在一定时间内眼睛闭合时所占的时间比例。

## 3 调试与分析

对硬件电路进行 PCB 制作、元器件焊接，并对电路分模块地调试，完成了硬件接口驱动的编写，并实现了芯片的自动加载功能。

在搭建的检测系统上，在强光、弱光等不同光照条件下，对 1600 帧视频图像进行疲劳状态的识别，图像大小为 576 \* 720，Adaboost 算法选取的人眼分类器大小为 35 \* 16，共 19 层级联分类器。

表 3 为各部分算法所花费的时间，表 4 为本文的方法与其他方法识别率的比较。

表 3 各部分算法花费时间

操作	时钟数	时间/ms
Loop(采集、显示)	230674—240506	3.1—3.2
Adaboost	1550438—2392665	20.7—31.9
Adaboost+Otsu	2076275—2868960	27.7—38.3

表 4 本文方法与其他方法识别率比较

方法	时钟数	误判数/总数	时间/ms
本文方法	睁眼	61/800	5.1%
	闭眼	22/800	
积分投影	睁眼	476/800	31.8%
	闭眼	33/800	
模板匹配	睁眼	23/800	7.3%
	闭眼	93/800	

从表 3 可以发现，各个部分的运行速度相对较快，检测速度能达到 26 帧/s，满足实时性要求。从表 4 可以发现，相对于积分投影法，本文的方法具有明显的优势；相对于计算量较大的模板匹配法，本项目方法的睁眼检测效果存在不足，但总

的误判率低于模板匹配法, 更具可行性。

### 4 结语

本文以设备硬件设计为核心, 重点研究了疲劳检测的相关理论基础。设计了图像采集、图像处理 and 图像回放等相关硬件电路, 解决了疲劳检测的系统平台, 通过试验验证了该系统平台的可行性, 并设计了一套软件检测方案, 该方案检测是倍率高, 实时性好。目前本设计正在着力优化平台结构、减小硬件尺寸, 以适用于车载空间狭小的现状; 并在保证疲劳检测准确率和鲁棒性的前提下, 改进算法结构, 优化程序代码, 以提高检测的性能。我们可以期待, 在不久的将来本系统必将会实现车载化、装置化和实用化。

### 参考文献:

[1] 李都厚, 刘 群, 袁 伟, 等. 疲劳驾驶与交通事故关系 [J]. 交通

(上接第 42 页)

运输工程学报, 2010, 10 (2): 104-109.

[2] 傅家振. 驾驶疲劳的产生原因与防范措施 [J]. 车运用, 2010 (7): 36-37.

[3] 曹 莹, 苗启广, 刘家辰, 等. AdaBoost 算法研究进展与展望 [J]. 自动化学报, 2013, 39 (6): 745-758.

[4] 于兴玲, 王 民, 张立材. 基于 PERCLOS 的驾驶员眼睛状态检测方法, 汽车电子 [J], 2007 (5): 251-253.

[5] 施 海, 王 伟, 谢 峰. 基于驾驶员生命体征的智能监控系统 [J]. 重庆工学院学报 (自然科学), 2009 (4): 25-29.

[6] 贾 芳, 郑 丹. 基于 TMS320DM642 芯片的视频目标跟踪系统设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (7): 2192-2195.

[7] 尚佳良, 白瑞林, 杨文浩. 基于 DM642 的视频处理系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (7): 1289-1291.

[8] 刘 丹, 孙丽云, 胡 伟, 等. 基于 DM642 的视频处理系统设计 [J]. DSP 开发与应用, 2007 (6): 157-159.

表 1 仿真实验测试对比参数

测试项目	传统 AFDX 网络测试技术方法	AFDX 网络测试 3+1 整合法
AFDX 网络测试检索速度	6.3s	1.2s
AFDX 网络测试问题反馈率	89.2%	98.8%
AFDX 网络测试数据响应速度	1.2s	4ms
AFDX 网络测试数据交互完整度	92.7%	100%
AFDX 网络测试技术扩展延伸性	差	良好
AFDX 网络测试技术所需人员开销	大	小

通过上述表 1 数据对比可以看出, 提出的 AFDX 网络测试 3+1 整合法具有测试速度快、数据层测试度深、测试准确率高、数据交互响应度高、操作简单、人员开销小、整体长时间运行稳定等特点。OPNET Modeler 工具运作速度更快, 效率更高。

### 3 结束语

针对传统 AFDX 网络测试技术方法存在的问题进行了分析, 并对问题存在根源提出了 AFDX 网络测试 3+1 整合法的设计。通过仿真实验测试证明, 提出的 AFDX 网络测试 3+1 整合法设计各项测试数据都优于传统 AFDX 网络测试技术方法, 满足设计改进要求, 为 AFDX 网络测试技术方法应用领域未来发展提供新的思路。

### 参考文献:

[1] 亢炜炜. AFDX 网络端系统测试技术研究 [J]. 航空维修与工程, 2015, 21 (8): 92-94.

[2] 刘道煦, 吴华程. AFDX 终端测试技术的研究与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (5): 1360-1362.

[3] 吴海荣, 罗 庆, 陈晓晨. AFDX 交换机测试分析系统设计 [J]. 飞机设计, 2014, 21 (3): 59-62.

[4] 李 雯, 王世奎, 林 坚. AFDX 端系统技术时延测试方法设计与实现 [J]. 测控技术, 2014, 33 (5): 105-107.

[5] 刘智武, 王红春, 陈长胜. 一种集成化多接口航电网络测试平台设计与实现 [J]. 电子技术应用, 2014, 40 (7): 79-81.

[6] 孔维刚, 白 杨, 雷 红. AFDX 网络传输介质转换器测试设备的设计 [J]. 大众科技, 2015, 17 (11): 3-4.

[7] 李 波, 曹 敏, 胡万层, 等. AMI 通信网络中微功率无线通信的性能测试技术及系统研究 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (2): 385-388.

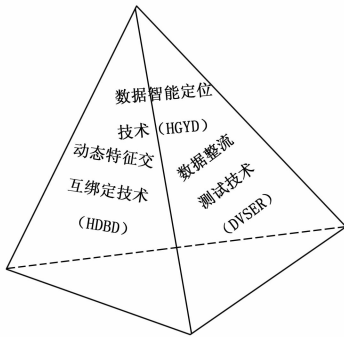


图 3 测试平台架构形态

### 2 实验与结论

针对提出的 3+1 整合法进行仿真实验测试。测试采用测试数据分析对比方式, 对传统 AFDX 网络测试技术与提出 AFDX 网络测试 3+1 整合法进行对比测试, AFDX 网络测试 3+1 整合法采用具有高效离散事件仿真引擎的 OPNET Modeler 工具, 构建仿真网络拓扑, 实现网络测试。测试环境配置为: CPU i5 4450, 主频 3.1Hz, 内存 4G, windows 7 旗舰版操作系统。具体测试参数如表 1 所示。运行仿真过程中, ODB 调试界面参数设定如图 4 所示, 需要注意的是仿真核心 (simulation kernel) 存在 Development 和 Optimized 两种, 优化的仿真核心 (Optimized) 的缺点在于虽然提高了仿真速度, 但是以不产生 ODB 信息为代价, 并不利于开发初期的调试, 因此, 必须将仿真核心设置为 Development。

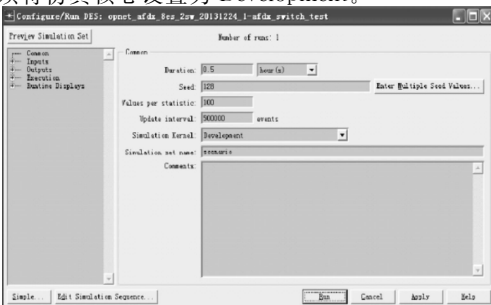


图 4 运行仿真参数配置