

# 基于 LabWindows/CVI 的高效高精度 专用测试设备设计

王云霞<sup>1</sup>, 葛双超<sup>1</sup>, 李 杰<sup>1,2</sup>, 胡陈君<sup>1</sup>, 冯凯强<sup>1</sup>, 高正阳<sup>1</sup>, 张林竹<sup>1</sup>

(1. 中北大学 电子测试技术国防科技重点实验室, 山西 太原 030051;

2. 中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051)

**摘要:**针对某型号炮射导弹仪器舱的传统测试设备无法满足高效率批量检测的问题,设计了基于 LabWindows/CVI 虚拟仪器平台的高效高精度专用测试设备。该设备通过标准化的通信协议、模块化、多线程、ACCESS 数据库等关键性技术实现了系统自检、设备计量、多工位自动测试和数据管理等功能。经过实验验证,该专用测试设备对同一产品重复性测试时误差不超过 0.5%,具有良好的稳定性和准确性。单发产品测试时各项技术指标测试误差较小,并行测试时比传统测试设备缩短了 62.857% 的测试时间,有效解决了多工位自动化并行测试问题,提高了测试效率和精度,降低了测试成本,促进了国防事业的发展。

**关键词:** LabWindows/CVI; 多线程技术; ACCESS 数据库; 测试系统

中图分类号: TP273 + .5

文章编号: 1000 - 0682 (2024) 06 - 0050 - 06

文献标识码: A

DOI: 10. 19950/j. cnki. CN61 - 1121/TH. 2024. 06. 010

## Design of high - efficiency and high - precision special test equipment based on LabWindows/CVI

WANG Yunxia<sup>1</sup>, GE Shuangchao<sup>1</sup>, LI Jie<sup>1,2</sup>, HU Chenjun<sup>1</sup>, FENG Kaiqiang<sup>1</sup>, GAO Zhengyang<sup>1</sup>, ZHANG Linzhu<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Electronic Testing Technology for National Defense Science and Technology, North University of China,

Shanxi Taiyuan 030051, China; 2. Key Laboratory of Instrument Science and Dynamic Measurement,

Ministry of Education, North University of China, Shanxi Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that the traditional test equipment of a certain type of gun - launched missile instrument cabin can not meet the high efficiency batch test, a special test equipment with high efficiency and high precision based on LabWindows/CVI virtual instrument platform is designed. Through standardized communication protocol, modularization, multi - threading, ACCESS database and other key technologies, the system self - test, equipment measurement, multi - station automatic test and data management are realized. After experimental verification, the error of the special testing equipment for the same product repeatable test is less than 0.5%, which has good stability and accuracy. The test error of each technical index in the single product test is small, and the test time in parallel test is shortened by 62.857% compared with the traditional test equipment, which effectively solves the problem of multi - station automatic parallel test, improves the test efficiency and accuracy, reduces the test cost, and promotes the development of national defense.

**Keywords:** LabWindows/CVI; multi threading technology; ACCESS database; testing system

## 0 引言

随着军事现代化和技术发展的推进,对配备有先进导航和制导系统的炮射导弹需求增加<sup>[1]</sup>。仪器舱作为炮射导弹中承载制导系统、飞行控制系统

收稿日期: 2024 - 04 - 24

第一作者: 王云霞(2000—),女,山西朔州人,硕士研究生,研究方向为智能监测与控制。

等关键仪器设备的舱室,是导弹的“大脑”,对其各项技术指标进行精确测试对提高导弹制导精度和作战效能具有重要意义<sup>[2]</sup>。针对不同型号炮射导弹中仪器舱的各项技术指标,需要使用不同的测试设备精确测试。传统的测试设备只能满足对某个型号产品单项技术指标的测试,不能够满足日益增长的检测需求。

为解决传统测试设备批量检测耗时长、精度低、效率低、低智能化等问题,该文在自动测试领域研究了模块化、多线程、ACCESS 数据库等关键技术,开展了功能模块开发与集成测试工作,设计了基于 LabWindows/CVI 的高效高精度专用测试设备,实现了多工位并行测试,提高了测试精度、效率以及系统可维护性,降低了成本,对高端武器装备检测技术的发展起到推动作用<sup>[3-7]</sup>。

## 1 专用测试设备设计

为实现炮射导弹仪器舱产品的测试及管理,专用测试设备应能在 220 V 标准市电条件下正常工作,并能够在测试时为产品提供双路直流电源输出  $\pm 12.6$  V(精度  $\pm 1\%$ ) 的工作电压和不少于 1 A 的工作电流,提供多种组合激励信号,采集多通道测试信号。此外,仍需具备测试记录的数据库管理功能及设备自检和计量功能。

专用测试设备总体设计框图如图 1 所示,主要由测试主机、测试工装、上位机三部分组成。测试主机在测试过程中对被测产品施加电源、信号激励,采集反馈信号并通过 USB 电缆同步传送至上位机。上位机实现测试控制、测试数据处理、系统配置、数据库管理、报表输出等功能。测试工装可以快速安装待测产品,通过标准化接口设计与测试设备实现安全可靠的信号传输。

测试主机各个模块的设计原理:电源供电模块将 AC  $\sim 220$  V/50 Hz 的外部供电从交流电转换为直流电,并使用拓扑结构设计,采用级联降压的方式,满足系统内部各个模块不同电路对电源的需求。主控模块通过 USB 接收上位机的测试、计量、自检指令,并控制信号激励模块、对外电源激励模块对被测产品施加激励信号,接收反馈信号采集模块传送的数据,向上位机传送回令以及测试数据。信号激励模块用来产生被测产品的各种激励信号,满足被测产品对信号源的需求。对外电源激励模块将电源供电模块传送的中间电压转换成被测产品所需的供电电压  $\pm 12.6$  V。各个模块及板卡相互协作共同实现对被测产品的测试。

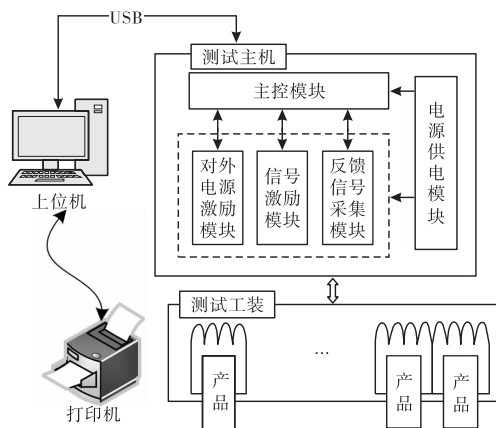


图 1 专用测试设备系统总体设计框图

## 2 上位机整体设计

### 2.1 软件设计需求

上位机软件作为连接专用测试设备各个组成部分的桥梁和核心控制中枢,为了保证设备正常运行、高效工作,需要实现功能如图 2 所示。同时软件应具有友好的人机交互界面,响应用户操作。

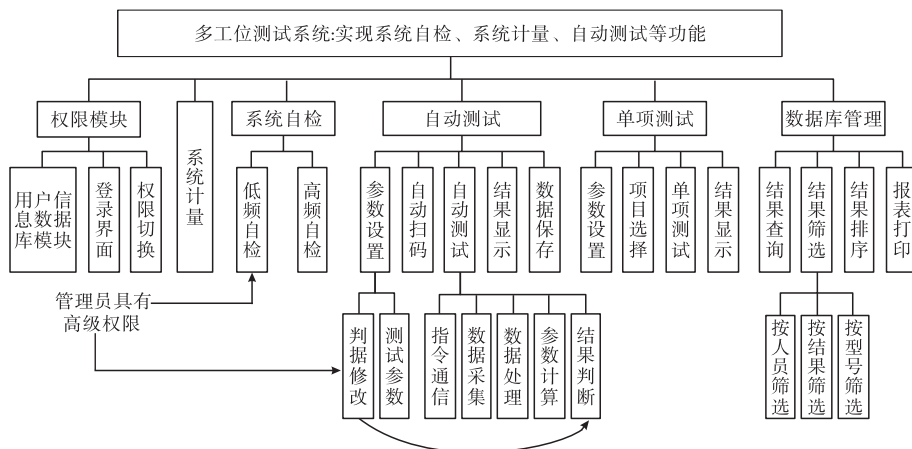


图 2 软件功能结构图

## 2.2 软件开发平台

专用测试设备上位机软件在 LabWindows/CVI 2017 平台开发。LabWindows/CVI 提供了丰富的工具和函数库,使开发者能够方便地实现创建用户界面、数据采集、信号处理、数据分析、报表生成等功能,支持多线程、事件驱动等特性,使得开发过程更加高效和灵活<sup>[8-9]</sup>。

## 2.3 软件设计

软件整体设计时使用模块划分的方法,使得系统维护时开发人员可以更方便地进行修改、优化或扩展<sup>[10]</sup>。为满足设计需求,上位机软件划分为 9 个模块:用户登录模块、USB 通信模块、自动测试模块、设备自检模块、报表查看模块、计量模块、资源管理模块、电气参数阈值设置模块、故障诊断模块。软件主次界面模块分布如图 3 所示,并使用响应式布局技术,在不同分辨率下都能够保持良好的显示效果,提升了用户体验和易用性。

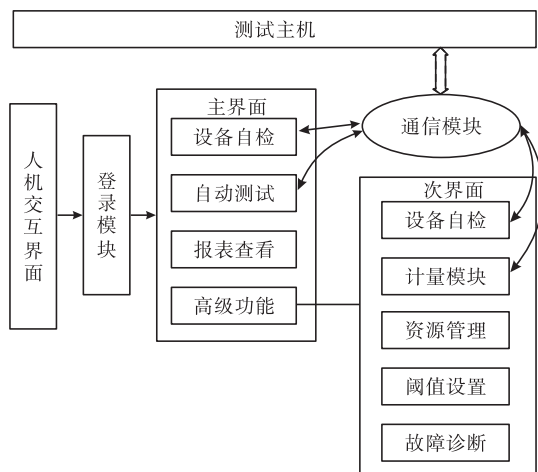


图 3 上位机软件模块分布图

## 2.4 测试流程

专用设备测试时,用户打开上位机软件后进入到登录界面,选择用户身份通过密码进入主界面。用户确认测试设备通信建立连接后,完成电压、低频、高频等激励信号自检。连接待测产品,设置产品信息,数据库对特定信息查找是否重复后开始自动测试。自动测试设计流程如图 4 所示。

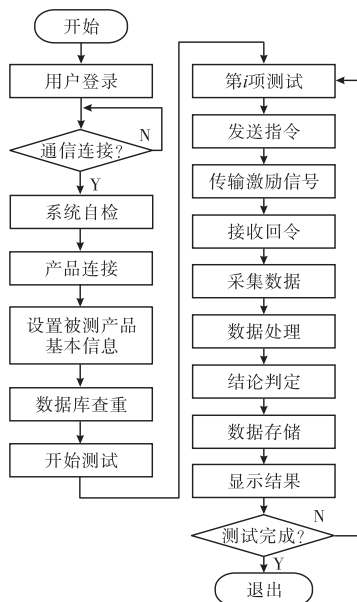


图 4 自动测试流程图

## 3 关键性技术

### 3.1 USB 通信

测试主机中 USB 接口单元使用 FTDI 公司的 FT232H 芯片进行设计,采用单通道 USB 通信模式,与上位机实现高达 12 Mbps 的数据传输速率,能够满足数据的高速传输。

上位机为满足这种单通道通信模式,需要调用 FTD2XX 驱动函数,文献[11]中介绍了 7 种常用的驱动函数,主要设计步骤如图 5 所示。

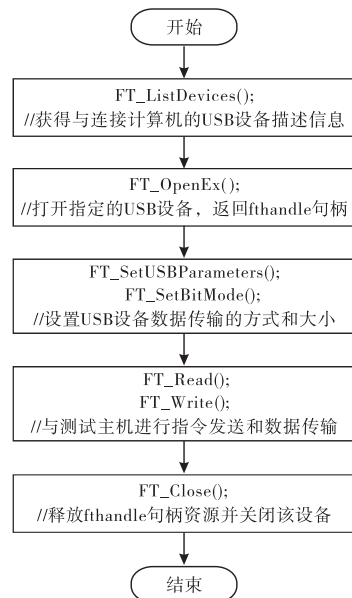


图 5 上位机 USB 通信设计步骤

### 3.2 通信协议

在通信过程中,需要约定通信协议,它定义了数

据的格式、传输方式、错误检测和纠正机制,以及通信双方之间的交互规则。上位机向测试主机发出控制指令,待接收到回令后判断是否正确,若正确继续接收应答数据,错误则通信失败。

表 1 是上位机发送指令的帧格式。指令类型有自检、计量、测试、停止等。一共有 5 个工位,工位号有 32 种情况。指令类型有不同的测试项目,如测试时有消耗电流、不归零电压、脉动幅度等项目,自检计量时有电压、低频、高频等项目。下位机回令是把指令的结束位改成另一个固定值 0xDF。例如给测试主机发送工位 1 自检低频指令:0xAA、0x11、0x0001、0x02、0xFF,若收到对应回令为:0xAA、0x11、0x0001、0x02、0xDF,则通信握手成功。

表 1 上位机发送指令的帧格式

名称	功能	数据长度
Frame_start	帧的起始位	1 Byte
Com_type	指令的类型	1 Byte
SEL	选择工位号	2 Byte
Test_item	测试项目位	1 Byte
Frame_end	帧的结束位	1 Byte

自动测试时应答数据帧格式如表 2 所示,一帧数据有 68 Byte。因测试设备可以对 5 个工位进行并行测试,每一帧传输的 60 字节数据按次序分为工位 1、工位 2、工位 3、工位 4、工位 5。

表 2 自动测试模块应答数据帧格式

名称	功能	数据长度
Frame_start	帧的起始位,是固定值 0xEB90	2 Byte
Frame_count	帧计数,用来查看当前帧的序号	2 Byte
Frame_data	测试数据	60 Byte
Frame_flag	上位机指令标志位	2 Byte
Frame_check	校验位,1-66 字节和的低 8 位	1 Byte
Frame_end	帧的结束位,是固定值 0xAF	1 Byte

### 3.3 模块化技术

模块化核心思想是将软件系统划分为多个相互独立且具有特定功能的模块,通过定义清晰的接口和依赖关系,使得各个模块可以独立开发、测试和维护,并且可以在不同的系统中重复利用<sup>[12]</sup>。如图 3 所示,上位机软件划分为 9 个模块。其中,资源管理包括测试人员和测试项目管理,通过增加、删除功能,确保信息同步至数据库和主界面,可以保持系统资源的实时性和准确性。阈值设置模块通过设置测试过程中技术指标参数正常值的判定范围,可以有效地评估和验证产品的性能是否符合设计要求。故障检测模块通过单项检测,实现数据实时显示、保存、图像绘制等功能,精准定位产品故障。由于其模

块化的设计,提高了软件系统的可维护性、可扩展性和灵活性,降低了开发和维护成本。

### 3.4 多线程技术

LabWindows/CVI 软件平台主要有线程池和异步定时器两种多线程,二者适用于不同的场景。线程池通常用于处理需要并发执行的任务,将任务提交给线程池后由线程池来分配线程并执行。而异步定时器常用于执行延迟或定时任务,通过设置定时器的触发时间和回调函数来实现。在多线程环境下,可能会出现各种异常情况,如线程死锁、资源泄漏、内存溢出等。需要合理的异常处理和安全的线程设计,保证系统的稳定性和可靠性。

文献[13]设计了动力驱动装置实时测控系统,通过线程池和异步定时器实现不同模块的功能。文献[14]设计了战场气象环境远程监控软件,通过线程池技术独立实现数据采集、处理等多个功能,保证数据的实时性。该文通过两种多线程技术共同实现了多个工位消耗电流、不归零电压、脉动幅度等六种测试项目的全自动测试,设计流程如图 6 所示。

测试开始时,创建线程池通过控制指示灯闪烁显示测试状态,创建异步定时器设置触发时间,依次完成各个测试项目指令的发送,数据采集处理判定等。测试完成后,线程池完成数据存储和结果显示,主线程释放线程池、关闭异步定时器。主线程和两个辅助线程实现各自功能,相辅相成,保证数据实时采集存储,显示测试状态结果,即时响应用户操作,大幅提高了测试速度。

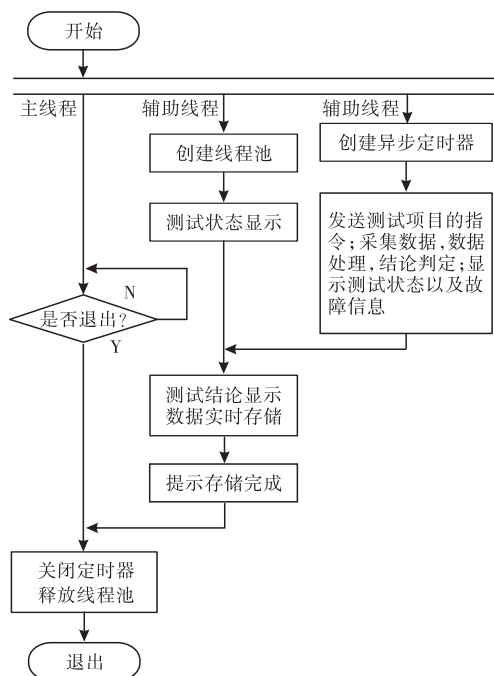


图 6 多线程技术设计流程图



### 3.5 数据处理

由于设备下位机与上位机之间进行数据高速传输时,不可避免会受到各种干扰,如设备工作时会产生电磁干扰,环境中的噪声、其他设备的干扰以及电缆长度都会对数据传输产生影响,影响数据的质量。数据质量的好坏对后续计算的准确度和精确度至关重要,因此采集信号后,需要对数据进行预处理。

异常值剔除后,利用 5 阶巴特沃斯低通滤波器滤除干扰。巴特沃斯滤波器是在通频带内具有最大平坦度的低通滤波器,与其他类型的低通滤波器相比,巴特沃斯低通滤波器的通带平滑度更高,有助于保留信号的重要特征,同时减少因频率响应变化而引入的失真,设计稳定不易产生震荡或不稳定的响应。

以脉动幅度测试项目为例,其信号为交流电压叠加小直流电压,要计算得到交流信号有效值。将信号分解为交流部分和直流部分,如式(1):

$$V(t) = V_{AC}(t) + V_{DC} \quad (1)$$

直流部分  $V_{DC}$  通常是信号在一个较长时间段内的平均值,对信号的每个采样点取平均值来计算其直流分量。去除直流分量后得到纯交流信号  $V_{AC}(t)$ ,如式(2):

$$V_{AC}(t) = V(t) - V_{DC} \quad (2)$$

接着使用 FFT(快速傅里叶变换)算法,将时域信号转换到频域,用一系列频率成分的振幅和相位表示,使用 FFT 均方根计算有效值如式(3),与直接计算其均方根相比较具有更高的效率。

$$V_{rms} = \sqrt{(\sum x_i^2)/N} \quad (3)$$

其中: $x_i$ 是第  $i$  个频率分量的幅度; $N$  是信号采样点数。

### 3.6 数据库技术

由于专用测试设备的上位机软件设计要求能够实现 5 个工位的并行测试,测试数据量相对较大。基于 LabWindows/CVI 虚拟仪器软件与 ACCESS 数据库<sup>[15]</sup>的特点,该文设计了自动测试模块数据的实时存储功能和报表查看、阈值设置等模块的管理功能,使软件更加灵活并且具有良好的拓展性能。

报表查看功能模块界面如图 7 所示,支持用户通过产品型号、批号、编号、测试工序、测试时间等关键词快速检索数据信息,对数据参数进行数据分析(编号查重、查漏、排序等)、统计分析(计算标准差、均值、方差、极值等)和图像分析(做散点图、区间分布图等),将数据按照规定 Excel 模板导出、打印以及删除数据、自动备份。支持不同身份的用户具有

不同的操作权限,如普通用户没有数据删除、异常数据打印的权限。阈值设置模块和资源管理模块支持用户添加、删除信息,并同步更新至数据库。数据库更新设计流程如图 8 所示。

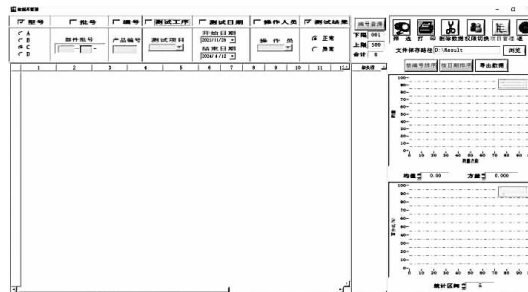


图 7 软件报表查看界面

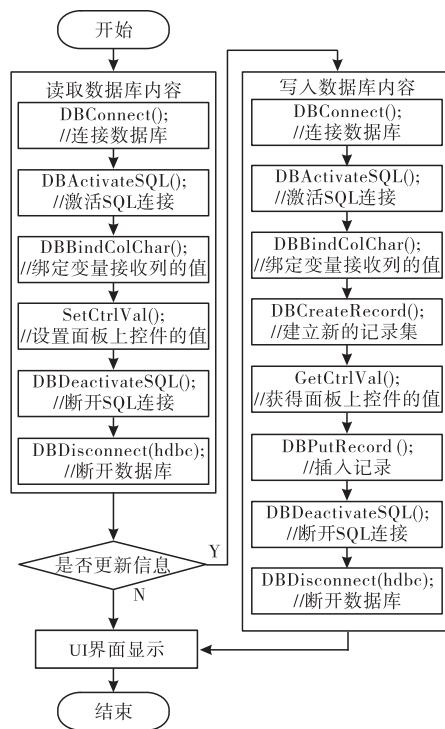


图 8 数据库内容更新流程图

### 3.7 报表打印

测试结束后,操作人员需要对某些产品的测试结果按照特定 Excel 模板进行打印,用于查看信息、数据留档<sup>[16]</sup>。传统的测试设备打印报表时只能利用预览报表表头的打印命令对单条数据库进行打印,若打印多条测试数据,需耗费操作人员大量时间及精力。该专用设备报表查看模块打印功能支持用户根据不同的产品型号按照相应的特定模板指定打印范围进行批量化打印,也可以对单条数据库格式化打印,如图 9 所示。此设计提高了打印效率,简化用户操作。



图 9 软件打印功能界面

4 设备验证

4.1 功能验证

本专用测试设备基于淮海工业集团某分厂某炮射导弹仪器舱进行验证,共对 50 发产品完成 2 道测试工序、6 个测试项目、12 个技术指标测试,测试现场如图 10 所示。对同一产品重复性测试,误差不超过 0.5%,验证专用测试设备稳定可靠。由于该炮

射导弹仪器舱的各项技术指标涉及军事机密,该文对其名称和部分测试数据不便展示。



图 10 系统功能测试现场图

4.2 精度验证

表 3 是传统测试设备与专用测试设备对同一产品同一工序的 12 项技术指标测试时误差对比。经比较,专用测试设备测试误差较小,精度更高。

表 3 传统测试设备与专用测试设备指标测试误差对比

指标	传统设备	专用设备	指标	传统设备	专用设备
指标 1(I/mA)	+0.203	-0.014	指标 7(V/V)	+0.165	+0.015
指标 2(I/mA)	+0.195	+0.010	指标 8(V/V)	-0.124	+0.012
指标 3(V/V)	-0.178	+0.015	指标 9(V/V)	-0.177	-0.010
指标 4(V/V)	+0.163	-0.014	指标 10(V/V)	-0.164	+0.009
指标 5(V/V)	-0.182	-0.018	指标 11(t/ms)	-0.158	-0.015
指标 6(V/V)	-0.192	+0.009	指标 12(V/V)	+0.167	-0.013

4.3 效率验证

表 4 是传统设备与专用测试设备自动测试模块所用时间对比。其中测试时间包括被测产品安装于测试工装、上位机采集、处理数据以及显示结论、被测产品从测试工装取出的时间。专用测试设备单发

产品自动测试时,如图 6,运用多线程技术,节约了单个项目结束后手动切换的时间,测试后自动将数据记录存入数据库,节省了用户手动保存的时间。五发产品并行测试时缩短 62.857% 的时间,与传统设备相比较,提高了测试效率、提升了用户体验。

表 4 传统设备与专用测试设备测试时间对比

测试项目	自动测试模块				
	1 个产品	2 个产品	3 个产品	4 个产品	5 个产品
传统设备测试时间 t/s	139	280	418	558	700
专用设备测试时间 t/s	136	167	197	228	260

5 结论

基于 LabWindows/CVI 采用自上而下的设计方法完成了专用测试设备设计,制定了标准化通信协议,实现了通信、计量、自检、多工位并行全流程自动测试、数据库查看等众多功能。经过多次测试验证,该设备可以稳定运行,与传统测试设备相比具有较高的精度,提高了测试效率,可以满足某型号炮射导弹仪器舱的批量检测需求。系统功能采用模块化设计,测试系统集成度高、扩展性强、测试效率高、可维

护性强,可以为国防事业的发展提供有力支撑。

参考文献:

[1] 代宇,吴辉,钟小兵,等. 炮射导弹图像导引头抗旋转技术研究进展[J]. 火炮发射与控制学报, 2022, 43(06): 81-87.

[2] 李春臻,刘婵媛,高文霞,等. 基于 ADC 方法的炮射导弹系统效能评估[J]. 计算机测量与控制, 2022, 30(04): 142-148.

[3] 李斌,张根苗,党政. 高集成度模块化电源测试系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(04): 63-67.

(下转第 80 页)

- [1] IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2022, 24(1): 88–122.
- [3] 何雨辰, 王云, 刘涛, 等. 基于公共特有序子空间提取的工业设备多模式运行过程故障检测方法[J]. 控制与决策, 2022, 37(6): 1469–1478.
- [4] 张宏斌, 徐京明, 吴志东, 等. 机电设备振动测试系统设计[J]. 机械设计与制造, 2023, 385(3): 297–304.
- [5] 李青, 李钊阳, 王天钦, 等. 基于 DS 证据理论融合油液振动多参数的故障诊断方法研究[J]. 机械强度, 2023, 45(3): 534–540.
- [6] 张春宇, 刘福才, 程雪聪. 基于微机电系统与径向基函数的水下航行器姿态检测[J]. 计量学报, 2022, 43(9): 1135–1141.
- [7] 葛勇强, 曹晨, 陈家旺, 等. 基于 MEMS 传感阵列的海底地形形变原位监测装置[J]. 浙江大学学报(工学版), 2022, 56(9): 1732–1739.
- [8] 王毓婷, 石云波, 张越, 等. 压阻式高 g 值加速度传感器温度补偿设计[J]. 工业仪表与自动化装置, 2023(4): 3–7.
- [9] FILCEK M. Frequency of harmony and the unified theory of everything. Across the universe towards human body and mind with discovery of neuroarchitecture vinci power Nap pendulum as the biotechnology of the future[J]. Journal of Biotechnology and Biomedicine, 2022, 5(3): 163–179.
- [10] 解浩东, 尚尧, 欧阳一毅, 等. 三轴加速度计佩戴身体不同位置不同运动条件下能量消耗的变异性[J]. 中国组织工程研究, 2023, 27(23): 3707–3713.
- [11] 王庆林, 裴向东, 廖林玉, 等. 多核数字信号处理器矩阵乘卷积算法性能评测[J]. 国防科技大学学报, 2023, 45(1): 86–94.
- [12] Logeshwaran J, Ramkumar M, Kiruthiga T, et al. SV-PA – the segmentation based visual processing algorithm (SVPA) for illustration enhancements in digital video processing (DVP)[J]. ICTACT Journal on Image and Video Processing, 2022, 12(3): 2669–2673.
- [13] 刘文选, 赵金东. 基于 Hyperledger Fabric 与星际文件系统相结合的数据存储框架[J]. 郑州大学学报(理学版) 2023, 55(1): 28–34.
- [14] 段晓聪. 基于无线传感网络分簇策略的分布式数据库加密存储研究[J]. 传感技术学报, 2022, 35(12): 1728–1732.
- [15] 张豹, 应励志, 余宇峰. 基于趋势特征的时间序列符号聚集近似表示方法[J]. 计算机应用, 2022, 42(1): 123–129.

(上接第 55 页)

- [4] LU X, ZHAO Y, JI H, et al. A new modular framework for high - level application development at HEPS. [J]. Journal of synchrotron radiation, 2024, 31 (2): 385 - 393.
- [5] 郭伟欣, 张志东. 基于 LabWindows/CVI 的多路电动机自动化综合测试系统设计[J]. 物联网技术, 2024, 14(03): 108 - 110 + 114.
- [6] CHRISTOPHER B, STELLA S. P007 Quality improvement project using a bespoke access database for trauma clinic and ward in - patients information recording and handover[J]. British Journal of Oral Maxillofacial Surgery, 2023, 61(10): e32 - e33.
- [7] 崔琼. 并行式自动测试系统程序设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2023.
- [8] LI B, FAN X, CHEN J, et al. Software design of high precision filling test system based on LabWindows / CVI [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1518 (1): 012074.
- [9] ZHAO X, YAN T, HE W, et al. Component design of word report generation based on LabWindows/CVI [J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1884 (1): 012074.
- [10] 李亚, 邵引平. 基于 LabWindows/CVI 的远程接口单元测试系统软件设计[J]. 计算机测量与控制, 2020, 28(07): 148 - 152 + 157.
- [11] 范晓光, 赵晶, 李小平, 等. USB 接口高速数据传输技术研究[J]. 军民两用技术与产品, 2019(03): 56 - 59.
- [12] 尹欣繁, 车兵辉, 章贵川, 等. 直升机风洞试验振动监控系统[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41(04): 172 - 175.
- [13] 于思源, 汪波, 李阳. 基于多线程的动力驱动装置实时测控系统[J]. 测控技术, 2022, 41(06): 107 - 111.
- [14] 桑德一, 陆巍巍, 姚刚. 战场气象环境远程监控软件设计[J]. 兵工自动化, 2021, 40(05): 41 - 44.
- [15] 李宗然, 任元强. 航空结构多参量监测数据库管理软件设计与实现[J]. 现代电子技术, 2023, 46(16): 116 - 122.
- [16] 邢焕洲, 武锦辉, 刘吉. 基于 LabWindows/CVI 的多区间弹丸测速系统[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(02): 138 - 141.