

一种筒弹测试故障模拟器系统设计

王鑫¹, 陈川²

(1. 上海机电工程研究所, 上海 201109; 2. 上海航天技术研究院, 上海 201109)

摘要: 为了测试人员能在平时使用模拟器系统进行测试训练; 设计并实现了一种筒弹测试故障模拟器系统, 对该系统的结构进行了设计, 给出了资源配置框图, 根据任务需求确认了筒弹测试故障模拟器系统的硬件设计原理和软件设计流程, 该系统能对筒弹基本电气性能和测试接口进行模拟, 通过操作故障模拟器软件, 选择相应的故障类型, 并通过网线, 将所选故障类型相对应的指令发送到主控插箱, 主控插箱依据所选故障进行操作, 将测试结果通过测试电缆输出到筒弹测试设备, 实现模拟筒弹正常测试项目和模拟筒弹测试故障等功能, 应用结果表明, 该系统运行可靠, 各项功能及技术指标均符合设计要求; 可以有效地对测试人员进行基础训练, 故障诊断与排除训练, 有效地提高了测试人员工作效率, 很好的完成测试人员对筒弹测试的操作训练任务。

关键词: 筒弹测试; 模拟器; 系统

Design of MIT Test Break Down Simulator System

Wang Xin¹, Chen Chuan²

(1. Shanghai Electro-Mechanical Engineering Institute, Shanghai 201109, China;

2. Shanghai Academy of Spaceflight Technology, Shanghai 201109, China)

Abstract: In order to test personnel in the usual use of the simulator system for testing and training. A turbo test fault simulator system was designed and implemented, the structure of the system is designed, gives the resource allocation block diagram, according to the task needs to confirm the cartridge test fault simulator system hardware design principles and software design process, the system simulates the basic electrical performance and test interface of the cartridge, by operating the fault simulator software, select the appropriate fault type, through the network cable, send the corresponding fault type command to the master box, the master box operates according to the selected fault, the test results are output to the cartridge test equipment via the test cable, realize the function of simulating the normal test item of the cartridge and simulating the failure of the cartridge test, the application results show that the system is reliable, the functional and technical indicators are in line with design requirements. It can effectively carry out basic training for testers, troubleshooting and eliminate training, it improves the efficiency of the test staff effectively, a good completion of the test personnel on the cartridge test operation training tasks.

Keywords: MIT test; simulator; system

0 引言

随着筒弹技术的迅速发展, 相应的筒弹模拟技术也在日益更新, 筒弹模拟技术是获取筒弹状态参数的有效手段, 事实上, 筒弹工程的需求推动筒弹模拟技术的发展, 而仿真模拟技术的发展反过来也大大促进筒弹工程的进度。筒弹模拟技术在筒弹工程中占有重要的地位, 传统的筒弹系统的组成极其复杂, 开发难度较大, 使用时限制条件较多, 它需要大量的传感器, 电路电缆及复杂的地面检测设备来共同完成。随着计算机技术的发展, 当前, 用于模拟筒弹工作性能的筒弹模拟器技术受到了极大的重视, 筒弹模拟器可以用于战时或日常训练中的检测和仿真, 判定筒弹测试设备工作状态是否正常, 它可以替代真实筒弹的危险性实验以及高成本消耗实验。筒弹模拟器可以应用于筒弹研发、生产和测试整个生命周期中, 从而提高研发测试的效率和安全性, 节约工作成本。

筒弹模拟器向来都是各国武器系统研制的重要组成部分, 美国导弹出口还把它作为必不可少的配置装备, 例如美国为阿联酋提供的 1000 套反坦克导弹, 就同时提供了 100 套命令发

射装置和 1000 套模拟装置, 美国海军正在安装由 AAI 公司研制的舰载海军模拟器/模拟雷达武器系统训练器; 俄罗斯开展的“无风-1”舰载防空导弹系统模拟训练器是一套硬件程序训练系统, 以便训练战士技术维护和操作, 基于虚拟现实技术的训练模拟器已经进入使用阶段。我国的筒弹模拟技术比较落后, 有的还在使用实物测试训练或实物模拟, 代价相当昂贵。因此, 研制一种筒弹测试故障模拟器系统, 不仅能够模拟筒弹各项功能指标, 还可以模拟筒弹测试故障以便于测试人员的训练, 提高正式筒弹研制效率和开发的安全性, 节约了实际筒弹测试的巨大成本。

1 系统设计原则及原理

1.1 系统设计原则

充分利用计算机资源, 简化设计电路, 降低设备故障发生概率, 提高设备精度指标。

综合优化设计和模块设计, 降低生产难度, 便于使用和维修。

采用成熟控制技术, 元器件和生产工艺, 降低研制难度和风险。

产品设计采用成熟技术, 借鉴以往测试设备的设计经验, 实现产品设计的更优化和经济性。

结构设计采用便携式机箱设计, 以积木化、小型化、轻便

收稿日期: 2017-02-12; 修回日期: 2017-03-12。

作者简介: 王鑫(1984-), 男, 上海人, 大学, 主要从事导弹测试测量与故障诊断方向的研究。

化的“三化”原则进行产品的设计。

1.2 系统原理

筒弹测试故障模拟器能够精确地对筒弹电气接口信号进行模拟, 主要实现模拟筒弹测试项目和模拟筒弹测试故障等功能, 该系统与筒弹测试设备一起完成测试操作训练, 为判断筒弹测试装备的技术状态提供依据, 为研制及测试过程提供便捷的手段, 为测试人员训练做好相应的技术支持。筒弹测试故障模拟器系统主要包括: 主控插箱、自检插箱、显控组合、电缆、故障模拟器软件。其系统结构如图 1 所示。

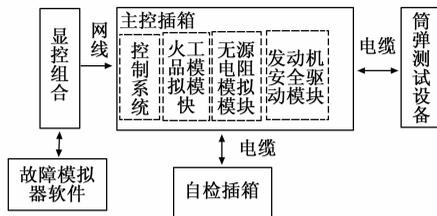


图 1 筒弹测试故障模拟器系统

筒弹测试故障模拟器系统中, 将故障模拟器软件灌装在显控组合中, 显控组合引出一根网线接到控制系统机箱上的零槽位置, 用户通过显控组合操作故障模拟器软件, 通过故障模拟器软件选择相应的故障类型, 将所选故障类型相对应的指令发送到主控插箱, 主控插箱依据所选故障进行操作, 将测试结果通过测试电缆输出到筒弹测试设备, 筒弹测试设备依据显示操作结果判断故障类型。

2 系统硬件设计

系统硬件采用模块化设计, 在满足任务要求的前提下, 力求设计简捷, 便于使用和运输, 该系统主要由主控插箱、自检插箱、显控组合组成, 如图 2 所示。



图 2 筒弹测试故障模拟器硬件示意图

2.1 主控插箱

主控插箱主要负责提供筒弹故障测试的电气接口, 模拟输出筒弹故障测试所需的信号电阻负载以及测试信号等。主控插箱主要由控制系统、火工品故障模拟模块、无源电阻故障模拟模块和发动机安全装置故障模拟模块等组成。

2.1.1 控制系统

控制系统是主控插箱的核心, 选用美国 NI 公司的 CompactRIO (简称 CRIO) 机箱和控制器, 带实时操作系统和 FPGA 背板, 可以实现数据采集和准确的实时控制功能, 本系统 NI CompactRIO 嵌入式测控平台为工业与嵌入式控制应用提供所需的高性能与高可靠性以及自定义的灵活性。CompactRIO 提供了一个开放的嵌入式架构, 包含内置的嵌入式控制器、实时操作系统、可编程 FPGA 以及小型、坚固且可热插拔的工业 I/O 模块, 可以快速实现测量与控制系统的自定义设计、原型及发布。

本系统机箱采用 cRIO-9112 机箱, 共 8 个插槽安装各模块卡; 配置嵌入式控制器 cRIO-9025 控制各模块运行; 模拟输出模块卡 NI-9264 模拟 16 通道输出 ± 10 V; 2 块数字 I/O 模块卡 NI-9403 是一款 32 通道, $10 \mu\text{s}$ 的双向数字输入/输出模块, 每条通道都兼容 5 V/TTL 信号, 并具有 I/O 通道和背板间 1000 V 瞬态隔离, 还具有 ± 30 V 过压保护和每通道高达 2 mA 的源电流; 串口通讯模块卡 NI-9871 配置 4 串口的 RS-422, 支持标准的起始位、停止位和握手设置, 并具有每端口高达 3.684 Mbaud 的波特率模块和 CompactRIO 之间的数据传输速率高达 1.28 Mb/s。其中, 模拟输出模块主要提供弹上的信号等; 数字 I/O 模块 1 主要控制火工品电路、无源电阻电路中继电器的通断; 数字 I/O 模块 2 主要控制电源负载、发动机安全驱动装置中继电器的通断; 串口通讯模块主要模拟与弹上的 422 通讯。从中可以看出, 控制系统配置多块模块卡和 1 块嵌入式控制器, 对于模块卡通道数量在使用时留有余量设计, 各模块卡功能的实现通过故障模拟器软件来实现。该配置能满足筒弹测试故障模拟器系统的需求。

2.1.2 火工品故障模拟模块

火工品故障模拟模块的功能是在筒弹火工品导通测试时模拟故障的筒弹火工品电阻信号。故障模拟方式是在各火工品信号电路回路中分别串入继电器, 通过数字 I/O 模块控制继电器的通断来模拟故障。

2.1.3 无源电阻故障模拟模块

无源电阻故障模拟模块的功能是在筒弹无源导通测试时模拟故障的筒弹静态电阻故障模拟方式, 是在各无源电阻信号电路回路中分别串入继电器, 通过数字 I/O 模块控制继电器的通断来模拟故障, 筒弹火工品电阻和无源电阻模拟模块电路如图 3 所示。

2.1.4 发动机安全装置故障模拟模块

发动机安全装置故障模拟模块的功能通过控制继电器来模拟发动机安全驱动装置的故障。通过在解除保险指令与保险回答之间、保险指令与解除保险回答之间串入继电器来模拟发动机安全驱动装置故障。

2.2 自检插箱

在使用筒弹测试故障模拟器系统前, 应进行设备自检, 确保故障模拟器系统处于正确的工作状态。自检插箱主要完成对本故障模拟器系统自检, 使用测试电缆分别连接主控插箱上的插座和自检装置上的插座, 可手动检测本故障模拟器系统输出信号是否正确。

2.3 显控组合

显控组合主要由一体式键盘鼠标显示器和控制计算机两部分组成。用于人机操作、显示信息等。

3 软件编程方法

筒弹测试故障模拟器软件作为故障模拟器系统的重要组成部分之一, 主要由通讯控制, 信号输出控制和人机交互界面三部分组成。通讯控制主要是根据与筒弹测试设备软件之间的 422 通讯协议, 完成与筒弹测试设备软件的通讯往来; 信号输出控制主要是控制模拟信号的输出, 使筒弹测试设备软件能适时采集到模拟信号; 人机交互界面主要用于设置筒弹测试故障。在确保完成故障模拟器的全部功能的基础上, 为使筒弹测试故障模拟器软件具有较高的健壮性、灵活性和较好的适应性。操作



图 3 筒弹火工品电阻和无源电阻模拟模块电路

系统选用 Microsoft Windows XP/SP2, 该系统运行稳定, 为测试软件提供良好的运行平台。软件编程环境为 NI LabVIEW Real-Time 以及 FPGA, 开发工具选用 LabVIEW 2010。LabVIEW 为图形化的虚拟仪器开发平台, 被公认是标准的数据采集和仪器控制软件, 提供了信号处理, 串口控制等多功能模块, 具有良好的用户界面编辑功能, 大大提高了编程速度。软件按照功能划分为模拟筒弹测试项目和模拟筒弹测试故障两部分。模拟筒弹测试项目部分主要根据筒弹的测试项目进行软件模拟, 模拟筒弹测试故障部分主要根据故障设置要求, 进行软件实现, 具备人机操作界面, 如图 4 所示。

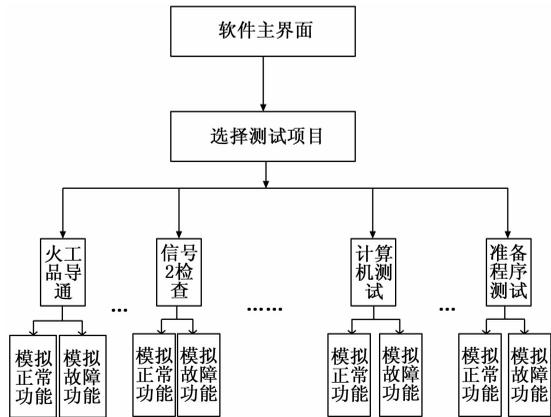


图 4 故障模拟器软件设计图

3.1 火工品导通项目模拟

模拟筒弹正常测试功能时, 故障模拟器软件控制数字 I/O 模块使继电器保持吸合状态, 软件正常测试; 模拟筒弹测试故

障时, 故障模拟器软件控制数字 I/O 模块使继电器断开, 实现多路火工品信号开路故障。

3.2 无源检查项目模拟

模拟筒弹正常测试功能时, 故障模拟器软件控制数字 I/O 模块使继电器保持吸合状态, 软件正常测试; 模拟筒弹测试故障时, 故障模拟器软件控制数字 I/O 模块使继电器断开, 实现多路无源信号开路故障。

3.3 驱动装置检查项目模拟

模拟筒弹正常测试功能时, 故障模拟器软件控制数字 I/O 模块使继电器保持吸合状态, 软件正常测试; 模拟筒弹测试故障时, 故障模拟器软件控制数字 I/O 模块使继电器断开, 实现驱动装置信号故障。

3.4 信号 2 检查项目模拟

模拟筒弹正常测试功能时, 故障模拟器软件控制模拟输出模块实现信号 2 输出, 输出指标应满足正常指标的要求; 模拟筒弹测试故障时, 故障模拟器软件控制模拟输出模块实现信号 2 输出, 输出指标范围不满足正常指标的要求。

3.5 计算机测试项目模拟

模拟筒弹正常测试功能时, 故障模拟器软件控制串口通讯模块实现与计算机测试项目的通讯, 并给出正确计算机自检数据; 模拟筒弹测试故障时, 故障模拟器软件控制串口通讯模块实现与计算机测试项目的通讯, 并给出计算机自检故障数据。

3.6 直波截获功能检查项目模拟

模拟筒弹正常测试功能时, 故障模拟器软件控制串口通讯模块和模拟输出模块实现与直波截获功能检查项目的通讯, 同时控制信号正确输出; 模拟筒弹测试故障时, 故障模拟器软件控制串口通讯模块和模拟输出模块实现与直波截获功能检查项目的通讯, 同时控制信号按故障状态输出。

3.7 解码特性检查项目模拟

模拟筒弹正常测试功能时, 故障模拟器软件控制串口通讯模块实现与模拟解码特性检查项目的通讯, 并能给出正确的解码信息数据; 模拟筒弹测试故障时, 故障模拟器软件控制串口通讯模块实现与模拟解码特性检查项目的通讯, 并能给出故障的解码信息数据。

3.8 预定精度检查项目模拟

模拟筒弹正常测试功能时, 故障模拟器软件控制串口通讯模块和模拟输出模块实现与预定精度检查项目的通讯, 同时控制信号的正确输出; 模拟筒弹测试故障时, 故障模拟器软件控制串口通讯模块和模拟输出模块实现与预定精度检查项目的通讯, 同时控制信号的故障输出。

3.9 惯测装置测试项目模拟

模拟筒弹正常测试功能时, 故障模拟器软件控制串口通讯

模块实现与惯测装置静态测试项目的通讯,并能给出正确的惯测测试数据值;模拟简弹测试故障时,故障模拟器软件控制串口通讯模块实现与惯测装置静态测试项目的通讯,并能给出故障的惯测测试数据值。

3.10 惯导系统测试项目模拟

模拟简弹正常测试功能时,故障模拟器软件控制串口通讯模块实现与惯导系统静态测试项目的通讯,并能给出正确的静态位移量数据;模拟简弹测试故障时,故障模拟器软件控制串口通讯模块实现与惯导系统静态测试项目的通讯,并能给出故障的静态位移量数据。

3.11 准备程序测试项目模拟

模拟简弹正常测试功能时,故障模拟器软件控制串口通讯模块实现与准备程序测试项目的通讯,并能给出正确信息数据;模拟简弹测试故障时,故障模拟器软件控制串口通讯模块实现与准备程序测试项目的通讯,并能给出非正确信息数据。

设计完成的简弹测试故障模拟器软件操作简单,功能完备,界面友好,用户体验方便简单,软件配合简弹测试故障模拟器硬件可实现模拟简弹正常测试项目和模拟简弹测试故障等功能,如图 5 所示。

4 结束语

本文设计的简弹测试故障模拟器系统通过了具体型号验证,完成了验收测试工作。测试结果表明:研制的简弹测试故障模拟器系统能够稳定可靠运行,各项功能及技术指标均符合

(上接第 14 页)

根据以上分析,可以得知此网络状态空间属于一种比较大的情形,需要一定时间来进行完整的状态空间分析,由有界性分析得知本网络中并不存在循环,不会产生死锁状态,不会产生状态空间爆炸的情况,属于一种安全网络。

如果产生空间爆炸的情况,需要对模型进行重新分析,对结构进行拆分以找出产生空间爆炸的节点,然后对库所变迁之间的弧进行重新设置,并对声明函数进行改进以使得模型变为安全网络。

3 结论

本文提出了一种通用的基于有色 Petri 网的机械系统故障诊断的建模方法,将故障来源以整数集、字符串集的颜色积集表达,通过增加时间函数以及声明得使仿真符合现实中的情况。针对其他系统的故障诊断,就可以简单的通过改变 CPN 模型中的故障分布函数、故障之间的相互关系函数进行分析,提高了系统故障的建模效率,可通过传统故障树与此模型的对比更加明显的看出。通过工具仿真分析可以方便的知道故障的传播过程以及发展趋势,通过状态空间的分析可以得知网络的运行状况及判定模型的安全可用性,以此对模型进行优化改进使得不会产生空间爆炸的情况,可以看出此研究方法对于机械系统故障诊断模型有着较强的通用性。

参考文献:

[1] 邹芳. 机械设备故障诊断技术的现状及趋势 [J]. 时代农机, 2016 (2): 8-10.
 [2] 李文刚, 胡林桥, 胡强. 数控机床故障诊断综述 [J]. 科技展望, 2014 (20): 235-237.

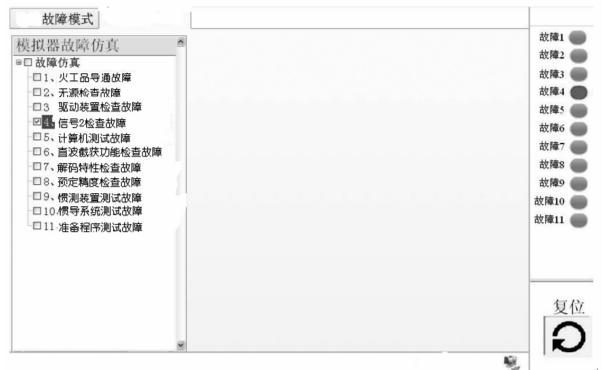


图 5 简弹测试故障模拟器软件示意图

设计要求。可以很好地完成简弹测试设备操作手对简弹测试的操作训练,对我国国防建设具有重要意义。

参考文献:

[1] 江维. 某导弹便携式测试系统的研制 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
 [2] 吴蕴轩. 导弹校准系统的研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2006.
 [3] 张志峰. 导弹模拟器通用开发平台研制 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
 [4] 胡永红, 楚亚菲, 丁璐. 小型飞行器综合测试系统方案设计 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (8): 1062-1064.
 [3] 王卫民, 贺冬春. 故障诊断知识建模及系统 [J]. 计算机应用与软件, 2016 (1): 28-30, 72.
 [4] 李娟莉, 杨兆建, 庞新宇. 面向知识工程的提升机智能故障诊断方法 [J]. 煤炭学报, 2016 (5): 1309-1315.
 [5] Dai X, Li J, Meng Z. Hierarchical Petri net modelling of reconfigurable manufacturing systems with improved net rewriting systems [J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2009, 222.
 [6] Talebberrouane M, Khan F, Lounis Z. Availability analysis of safety critical systems using advanced fault tree and stochastic Petri net formalisms [J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2016, 44: 193-203.
 [7] 李俊. 基于 Petri 网的机械系统可靠性分析与故障诊断研究 [D]. 武汉: 武汉科技大学, 2015.
 [8] 曾庆锋, 何正友, 杨健维. 基于有色 Petri 网的电力系统故障诊断模型研究 [J]. 电力系统保护与控制, 2010 (14): 5-11, 127.
 [9] 谢敏, 吴亚雄, 黄庶, 等. 基于有色自控 Petri 网的电网故障区域识别 [J]. 电力系统保护与控制, 2016 (2): 56-64.
 [10] Liu F, Heiner M. Modeling membrane systems using colored stochastic Petri nets [J]. Natural Computing, 2013, 124: .
 [11] 曾哲军, 杨进. 基于有色 Petri 网的工作流故障诊断方法 [J]. 计算机测量与控制, 2015 (3): 719-722.
 [12] 陈国宏, 马云峰. 基于 CPNtools 的城市突发事件应急管理系统的性能分析 [J]. 沈阳师范大学学报 (自然科学版), 2012 (3): 419-423.
 [13] 胡筱敏, 马云峰, 王宇佳, 等. 基于 CPNtools 的环评工程分析信息化技术的研究 [J]. 环境保护科学, 2011 (3): 63-65, 72.
 [14] 贾文彬. VMC650 五轴联动 (立式) 数控加工中心液压系统可靠性评价 [D]. 沈阳: 东北大学, 2011.