

基于 LXI 总线的某弹用自动测试系统设计

赵虎德¹, 闵昆龙², 孙 强³, 杨伟光⁴, 祁晓野¹

(1. 北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100191; 2. 北京航天测控技术有限公司, 北京 100041;
3. 解放军 93169 部队 机载弹药大队, 吉林 四平 136000; 4. 解放军 93716 部队 60 分队, 天津 300000)

摘要: 随着测试总线技术的不断发展, 当前基于 VXI 总线技术某弹用自动测试系统在满足现代战争高强度、高效率保障需求方面存在缺点, 无法适应未来高科技战争的需求; 通过对比 VXI 总线与 LXI 总线, 提出了基于 LXI 总线技术的某弹用远程分布式自动测试系统设计, 分析了该型炸弹的测试需求, 进行了系统方案和软件架构的设计, 描述了系统软件的工作流程, 提高了系统的标准化、智能化、模块化和通用化水平, 加强了系统机动性和保障效率。

关键词: 自动测试系统; LXI 总线; 远程分布式

Research of a Missile Automatic Test System Based on LXI Bus

Zhao Hude¹, Min Kunlong², Sun Qiang³, Yang Weiguang⁴, Qi Xiaoye¹

(1. School of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University, Beijing 100191, China;
2. Beijing Aerospace Measurement & Control Technology Co. Ltd., Beijing 100041, China;
3. 93169 unit of PLA, Siping 136000, China; 4. 93716 unit of PLA, Tianjin 300000, China)

Abstract: With the continuous development of test bus technology, the current missile automatic test system based on VXI bus have disadvantage while they meet the demand of modern war with the characteristic of high intensity and high efficiency, they are unable to adapt to the needs of the future high-tech war. Through the comparison of VXI bus and LXI bus, a remote distributed missile test system based on LXI bus technology is designed. The missile's test requirements were analyzed, also the system scheme and the software architecture were designed, its working process was described. This system realized the remote distributed test performance, improved the system's level of standardization, intelligence, modularization and generalization and strengthened the system agility and efficiency.

Keywords: automatic test system (ATE); LXI bus; remote distributed test

0 引言

当前, 随着科技的进步和发展, 新的作战样式和作战理念不断的推陈出新, 在这其中, 应用了各种新科技新技术的新装备新产品发挥了重要的支撑作用。这其中, 武器自动测试系统因参与整个武器系统研制、生产和装备的全寿命环节, 成为整个装备系统研制和装备过程中不可缺少的关键部分^[1-2]。

目前, 国产某型激光制导炸弹因其攻击精度高、生产成本相对较低的优点被广泛的装备和使用, 是主力攻击型武器之一。该型号炸弹的自动测试系统均采用了 VXI 总线技术, 由于 VXI 总线无法实现远距离测试, 该技术特点导致了该型号保障模式中的相互隔离, 即: 场站军械股作为平时储存单位, 弹药大队作为维护保障单位, 保障过程中需要先将炸弹从军械股转运至弹药大队进行启封测试, 待测试合格后再交付使用, 无形中增加了一次弹药转运环节, 增加了部队的工作量, 不利于未来高技术高强度战争对抗。如果能借助新的保障技术实现弹药远距离的直接测试, 那么我们仅需对军械股的库房进行适当 A 环境改造以达到测试要求就可以直接在军械股实行测试保障, 如此则会有力的提高保障效率, 为未来的实战保障节约宝贵的保障时间, 而 LXI 总线技术为这种保障模式提供了可能。

本文主要是以国产某型激光制导炸弹作为假定对象, 以信号模拟器作为实际被测对象, 搭建一个以 LXI 仪器为基础的远距离测试系统。

1 LXI 总线

LXI 总线技是基于多个成熟的工业标准技术, 尤其是以太网技术, 通过针对仪器开发需要的语言、命令、协议等内容进行拓展, 构成适用于自动测试系统的新一代模块化仪器平台标准^[3]。相比其他的测试总线, LXI 总线具有开放式的工业标准, 良好的向后兼容性, 低廉的成本, 高效的互操作性以及可以及时方便的引入新技术的特点。总结 LXI 总线的优点主要有^[4]:

一是 LXI 总线基于以太网标准 (IEEE 802.3)。在此标准下, 用户可以柔性扩充测试仪器, 而且没有仪器数量和放置地点的限制, 提高了模块利用率, 摆脱了传输距离的限制, 为实现远距离测试奠定了基础。二是 LXI 模块采用自集成和标准化设计, 使系统搭建更为灵活。三是 LXI 总线采用了 IVI 规范并使用 IVI-COM 驱动程序, 可以兼容各种开放式仪器驱动程序标准, 使 LXI 仪器具有强大的互换性、互操作性和软件的可移植性。总结各总线技术的性能情况对照如表 1 所示。

表 1 各测试总线性能情况对照表

形式 \ 总线	GPIB	VXI	PXI	LXI
吞吐量/Mbps	8	40	132	100/1000
物理形式	分立式	插卡式	插卡式	标准化分立式
几何尺寸	大	中	小一中	小一中
软件规范	IEEE488.2	VPP	IVI-C	IVI-COM
互换性	差	一般	较强	很强
系统成本	高	中一高	低一中	低——中

LXI 仪器是严格基于 IEEE802.3、TCP/IP、网络总线、网络浏览器、IVI-COM 驱动程序、时钟同步协议 (IEEE1588)

收稿日期:2016-10-20; 修回日期:2016-11-21。

作者简介:赵虎德(1986-),男,山东省禹城人,硕士研究生,主要从事自动测试总线方向的研究。

和标准模块尺寸的新型仪器。自 2005 年以来, LXI 产品得到了迅猛发展。据安捷伦公司 LXI 项目经理给出的数据:“现在已经有 300 多种 LXI 产品问世,在 LXI 产品的开发和推广方面,公司的 LXI 产品已经广泛用于美国的军工行业。”相比 VXI/PXI 模块, LXI 模块仪器不需要机箱、零槽控制器,每个 LXI 模块就是 1 台独立仪器,具有更大的灵活性^[5]。特别是由于 LXI 仪器采用 LAN 作为传输媒介,可以不受传输距离的限制,以 LXI 仪器搭建的测试系统可是实现远距离分布式测量。

2 测试系统需求分析

弹药自动测试系统具有生产量大、应用面广、调试复杂、资金消耗巨大等特点,是实施保障的关键装备之一,其质量的好坏,效能的高低直接影响了保障效率。当前,实际装备的该型弹用自动测试系统均以 VXI 总线为基础,整个系统存在着成本高,兼容性差,系统可移植性差,拓展升级困难等不足,不能很好地利用先进 PC 技术的优势,从而也无法将主流软件的低成本、高性能等好处带给用户。

针对该型炸弹进行系统设计,通过对被测信号的分析,可将测试过程中的信号分激励信号和响应信号。所谓激励信号,就是为了达到对某个测试任务的测试,由测试系统向被测对象发出的模拟信号,该模拟信号一般有典型或特定信号组成,例如各种幅值得交直流电压或电流信号、脉冲或阶跃信号以及各种频率的正(余)弦信号、方波信号等等。响应信号也就是被测系统收到测试系统发出的激励信号后产生的输出结果信号,我们可以通过响应信号来对被测对象的质量进行评判^[6]。根据被测对象的需求,分析获得测试系统的具体需求如表 2 所示。

表 2 测试系统资源需求

序号	资源类型	指标或功能需求	激励/响应	通道数
1	直流电源	+28.5V,输出电流为 60A	激励	1
2	直流电源	+28.5V,输出电流为 10A	激励	2
3	直流电源	+28.5V,输出电流为 5A	激励	3
4	开关指令	+27V~+28.5V 断开信号	激励	20
5	模拟量采集	-15V~+28.5V	响应	20
6	总线通信	1553B 数字总线	激励 响应	1
7	激光目标源	模拟激光目标	激励	1

分析被测对象的信号需求,其测试信号主要包括电阻、电流、交直流电压等^[7]。由于条件限制,没有真实炸弹作为被测对象,初步设计过程中以炸弹模拟器作为测试对象。

3 基于 LXI 总线的测试系统组成

系统总体设计思路是在分析被测需求的基础上,首先对所需 LXI 仪器进行选择,其次进行系统软件设计,最后结合炸弹模拟器进行实际测试,进行系统验证。

根据被测对象的信号类型,搭建以 LXI 为总线的自动测试系统。测试系统主要有工控机、交换机、LXI 模块仪器、测试接口以及显示器、键盘、鼠标和打印机等附件组成。其总体方案如图 1 所示。

整个测试系统的控制核心是工控机,它提供操作人员的操作功能界面,通过运行加载于其中的测试软件,控制 LXI 仪器的工作状态,从而达到对整个测试过程的控制和管理,完成规定的任务; LXI 模块仪器主要在工控机的控制下完成激励信

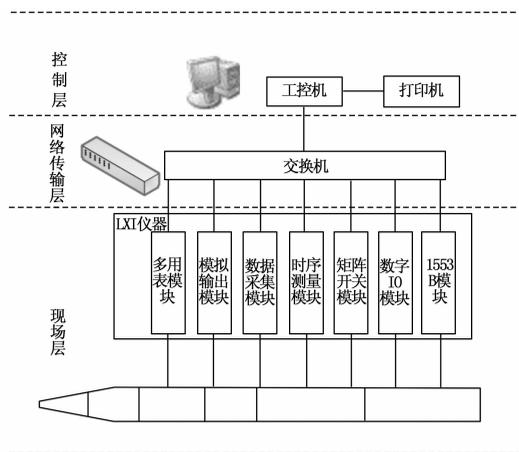


图 1 测试系统总体设计方案

号产生及响应信号采集等任务;交换机是系统指令和测试信号传输中介。

在对所需激励信号和响应信号按物理特性进行分类的基础上,按照过载余量充足的原则,选择适当 LXI 模块。综合考虑各方面硬件需求,选择的 LXI 仪器主要有数字多用表模块、扫描 A/D 模块、D/A 模拟输出模块、时序测量模块、数字 I/O 模块、矩阵开关模块和 1553B 模块。其中数字多用表模块主要应用于实现 LXI 平台的信号高精度测量;扫描 A/D 模块主要根据不同被测信号的测试需求,实现不同通道、任意增益、任意顺序的扫描任务;模拟输出模块主要作为高精度电压和电流激励源应用于过程控制和测试测量领域,也可为其它对象提供电压和电流信号;时序测量模块用于检测和记录输入开关量的改变以及提供输入开关量改变点相对于起始时刻的时间值;数字 I/O 模块主要完成事件计数、频率测量、脉冲宽度测量、周期信号输出以及脉冲序列生成等功能;矩阵开关模块具有集成化高、控制灵活的特点,主要用于实现测试过程信号通断控制;1553B 通讯模块主要实现与网络中其他测试设备的集成和协调,是 LXI 总线自动测试系统的主要组成部分。

由于工控机和各 LXI 模块之间通过交换机进行信号交互,因此为实现远距离分布式测试提供了可能。现实中为了实现在弹药保管单位直接测量,可以将各 LXI 模块与工控机分开放置,通过对场站军械股库房进行适当环境改造,使其适于开展武器的启封、测试和油封工作,同时库房增加 LAN 网口,然后将以 LXI 仪器为主的现场端置于军械股,将工控机以及键盘、显示器、打印机等部分作为控制端置于弹药大队,两者之间通过 LAN 网通信。同样,如果在多个分散点设置 LXI 仪器现场端,通过 LAN 网络进行互联,则可搭建远距离分布式测试系统。

4 测试系统软件架构设计

软件总体可分为功能界面层、逻辑层、仪器驱动层和 I/O 软件层(即 VISA 库)^[8]。系统主要实现系统管理、测试执行以及结果管理三大任务。针对上述任务分别进行系统逻辑设计、流程配置和设备配置。其软件结构框架如图 2 所示。

如上图所示,每次任务过程中,用户通过功能界面层选择确定操作内容,通过逻辑运行层进行数据传送、界面调度等^[9],通过 IVI 仪器驱动调用接口实现对仪器的调用,最后通过 I/O 接口程序实现对 LXI 仪器的操作。

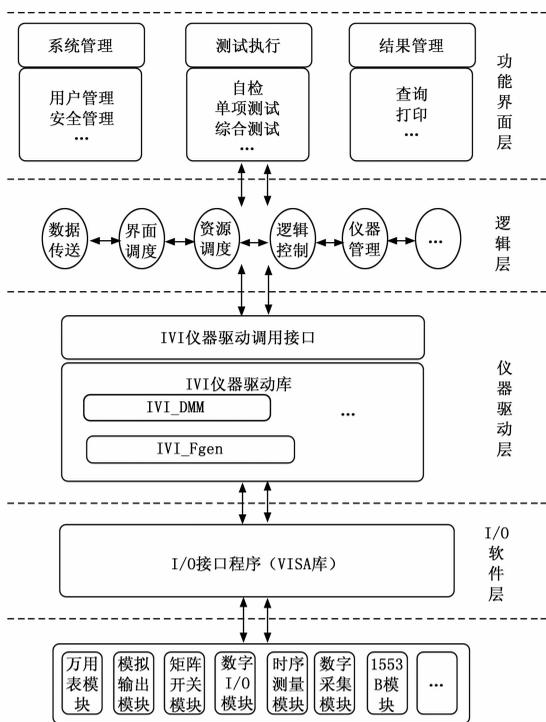


图 2 系统软件设计框架

5 系统软件执行流程

系统软件执行流程总共分为三层，分别为身份验证层、功能选择层和模块执行层。具体如图 3 所示。

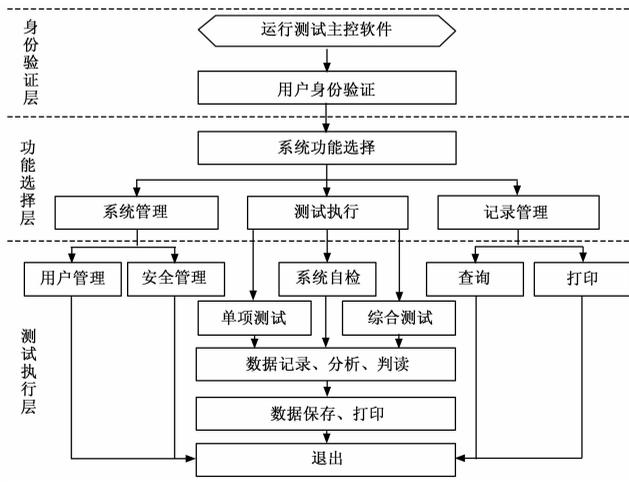


图 3 系统软件执行流程图

5.1 用户身份验证

身份验证层主要是验证用户的身份，识别用户操作权限，根据用户的权限进入相应的系统界面以进行后续操作。

5.2 用户功能选择

功能选择层主要是用户根据操作任务需要选择相应操作，主要分为系统管理、测试执行和结果管理三部分。

系统管理包含用户管理和安全管理，用户管理主要负责管理用户的信息，包裹添加和删减用户、使用权限设置，安全管理主要用于系统密码设置方面相关内容。

测试执行是系统的主要部分，包含自检、单项测试以及综

合测试等内容。自检是用于系统状态的自我验证，是系统开展测试前必须要进行的一项工作，系统的自检实际上是一种特殊的测试过程，它针对每一种设备的自检制定具体的信号发生和数据采集方案，整个测试过程按照设定的方案进行；单项测试主要针对被测对象的单个测试任务实行针对性的测试，该项功能在故障判断过程中可以有力的提高测试效率；综合测试主要针对被测对象进行全流程自动测试，是软件的核心任务，也是日常保障中主要使用的部分。

结果管理主要包含结果的查询和打印，可以使用户方便的进行测试结果的查询并根据需要进行打印，是系统必要的补充，增强了用户体验。

5.3 模块流程执行

模块执行层是主要的执行层，根据操作人员的功能选择，通过对 LXI 模块的控制，实现对被测对象的信号激励、相应监控和回传、测试结果的记录、上传和打印等任务。

6 试验结果分析与总结

通过测试系统与炸弹模拟器的联合试验进行模拟测试，测试过程中当前使用仪器、测试时间、数据理论合格范围、当前实测数据等信息均直观可查，达到了系统设计指标要求，实现了对该型号产品的测试功能。

通过该系统的设计过程可以证实：

- 1) LXI 仪器发展迅速，可以方便的搭建基于 LXI 总线的测试系统。
- 2) 基于 LXI 总线的自动测试系统以 LAN 网线为信号传输通道，可以实现远距离信号测试；
- 3) 自动测试系统信号传输过程中以交换机实现信号交互，可以拓展为分布式测试系统。

总之，采用基于 LXI 总线技术的武器自动测试系统符合了智能化、模块化、通用化以及标准化的系统设计原则，在实现传统功能的基础上，还可以进行远距离分布式测试，提高了系统的机动性，是装备自动测试系统的发展趋势。对于当前的基于 VXI 总线的测试系统，相信通过适当 LXI 上网改造，使其能够接入 LXI 总线系统是当前测试系统的一个发展方向。

参考文献：

[1] 刘劲松. 基于 VXI 总线技术的自动测试系统研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.

[2] 李行善, 左毅. 自动测试系统集成技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

[3] 于功敬, 孟汉城. 军用 ATE/ATS 技术的发展 [J]. 测控技术, 2000, 19 (1): 13-16.

[4] 王明帅, 刘岩, 程鹰. LXI 总线概述及其相关技术研究 [J]. 自动化与仪器仪表, 2016 (1): 75-77.

[5] 姜新广, 柳维旗, 姜志保, 等. 某型弹药制导系统的 LXI 总线自动测试系统 [J]. 兵工自动化, 2013 (5): 46-49.

[6] 王怡先, 马秋, 王云鹏. 基于多总线融合导弹自动测试系统设计 [J]. 测控技术, 2015, 34 (5): 34-37.

[7] 范宇. 空空导弹测试系统应用 LXI 总线研究 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (6): 1856-1877.

[8] 程进军, 肖明清. 基于 LXI 的多总线融合的自动测试系统 [J]. 传感器与仪器仪表, 2008, 24: 130-132.

[9] 李铜川, 张冠兵, 郇黎明, 等. 基于 LXI 总线的机载制导弹药并行测试方法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (7): 144-151.