

基于 LXI 的机载制导弹药并行测试方法研究

李铜川¹, 张冠兵², 郝黎明³, 祁玉林³

(1. 驻 35 所军事代表室, 北京 100071; 2. 中国人民解放军 94754 部队 99 分队, 甘肃 酒泉 735305;

3. 北京航天测控技术有限公司, 北京 100037)

摘要: 针对目前弹药测试保障系统测试资源利用率低, 测试保障效率无法满足现代化战争需求的问题, 提出一种基于 LXI 总线的弹药并行测试系统设计思路; 该系统应用 LXI 总线测试系统的分布式测试, 集中调度管理的特点; 将测试任务分散化, 测试能力本地化处理实现了弹药并行测试, 有效解决了测试资源闲置以及测试系统保障效率低下的问题; 通过并行测试系统设计思路、方案以及关键技术分析为弹药并行测试系统设计提供一种参考思路。

关键词: LXI 总线; 弹药测试; 弹药保障; 并行测试

Research on Parallel Test Method of Airborne Guided Munitions Based on LXI

Li Tongchuan¹, Zhang Guanbing², Huan Liming³, Qi Yulin³

(1. Military representative office in 35 place, Beijing 100071, China; 2. PLA 99 unit 94754, Juquan 735305, China;

3. Beijing Aerospace Measurement & Control Technology Co., Ltd., Beijing 100037, China)

Abstract: According to the currently system of ammunition support test. Test the low utilization rate of resources, guarantee efficiency of the testing can not meet the needs of modern war, put forward a based on LXI Bus ammunition parallel test system design ideas. Distributed testing of the system application of LXI bus test system, the characteristics of scheduling management, testing task decentralization, test the ability to localize the parallel test of ammunition is implemented, can effectively solve the testing resources idle and low efficiency of test system security problems. Through the parallel test system design idea, scheme and key technology analysis for ammunition parallel test system is designed to provide a reference.

Keywords: LXI; Ammunition Testing; Ammunition Support; Parallel Test

0 引言

科学技术的飞速发展使得现代化武器弹药科技含量不断提高; 加之信息技术的不断推广应用, 现代化战争模式已从以往机械式作战逐步演变为以海陆空立体联合规模作战为主。在高度信息化的现代战争中对参战资源的信息化程度以及作战快速响应提出了较高要求, 其中有关高效保障机载制导弹药的作战性能对未来战争过程中争取作战有利时机显得尤为重要。全面提升基于弹药自动测试系统 (ATS)^[1]对机载制导弹药的功能性能检测的能力, 保障机载制导弹药战斗准备状态的完好性将是 ATS 未来快速发展的趋势。目前机载制导弹药自动测试系统 (ATS) 以顺序操作流程为主; 即针对测试对象而言主要以一枚弹药、一个型号组件为单位顺序进行测试, 针对测试流程设计同样采取依次加入一组激励测试一组响应的顺序测试流程设计方式。从而导致参与弹药保障自动化测试的保障人员以及自动测试系统中的硬件测试资源闲置率较高, 资源利用率与弹药保障系统效率极低。同样由于顺序保障模式的限制, 导致具有充沛测试资源的弹药自动测试系统的测试容量无法提升, 弹药测试系统的全面性能无法得到充分利用, 最终使得弹药保障时效无法得到保证, 影响武器弹药作战效能的形成。若针对弹药自动测试系统保障对象以及保障内容的特点进行合理的测试任务调度、测试人员与仪器资源优化配置管理; 实现对被测对象或者组件的并行测试, 全面发挥弹药自动测试系统的测试容量和

测试效率, 并进一步提高测试系统的费效比; 十分有利于弹药自动测试系统能力提升; 从而有关机载制导弹药自动测试系统并行测试技术研究, 对提高我国机载弹药保障效率意义重大^[2]。

1 弹药测试保障系统现状分析

在现有弹药测试保障模式中, 资源闲置现象较为严重。弹药在基层部队进行维护保养时, 维护人员具有一套完整的操作流程如: 启封→摆放→对接电缆→通电测试→交付使用; 同样在弹药通电测试过程中同样具有一套测试流程。在维护人员做测试准备工作和测试完成拆除工作过程中测试设备处于闲置等待状态可以作为一种资源浪费而在弹药通电测试过程中维护人员处于等待状态同样属于人力资源浪费; 而在弹药通电测试时, 检测设备中测试资源 70%~80% 的时间内处于闲置状态又属于一种资源浪费。从而急需一种新的保障模式提高测试保障系统资源利用率, 提高测试保障系统对弹药的保障效率。

2 弹药并行测试条件与思路

弹药自动化测试系统并行测试技术指同一时间段内实现多个被测对象或者组件的并行测试; 或者同一时间段内实现单一被测对象的多个测试任务与测试参数测量。有关弹药自动测试系统并行测试方法实现手段可以有多种方式, 如通过测试接口信号的转换完成对多个 UUT 或者多个测试任务的并行测试。弹药自动测试系统并行测试核心技术主要包括有测试任务分解与测试任务的调配, 通过对被测对象测试内容以及测试流程的特点进行合理的任务分解, 并根据任务执行所需测试资源的相关性完成测试任务调度, 最终完成并行测试任务。

2.1 弹药并行测试条件

弹药并行测试保障模式可以全面提高测试系统保障效率,

收稿日期: 2015-12-30; 修回日期: 2016-06-01。

作者简介: 李铜川(1971-), 女, 陕西渭南人, 工程师, 主要从事弹药测试保障方向研究。

但弹药并行测试同时需要考虑保障环境所具备的条件以及权衡并行测试费效比。针对弹药并行测试保障系统工作模式特点, 具备以下特点弹药较适合并行测试保障: 测试过程中通电测试时间较长的型号适合并行测试。在弹药通电测试过程中如惯性导航组合等关键器件标定时间较长为避免保障人员长时间等待, 可以将弹药通电测试与弹药测试准备工作可以并行执行。其次测试保障弹型数量规模较大且测试技术难度与测试需求关联性不强的型号适合多枚同时通电并行测试。由于保障数量规模较大, 故提高保障效率意义较大; 同时由于测试需求关联性不强, 多设备测试资源灵活调度提供可能。

2.2 并行测试思路

2.2.1 测试任务分散化

通过将整个弹药测试任务进行合理分散处理可以提供资源利用率实现多项测试内容并行执行。在维护人员操作与设备工作之间进行合理的任务划分, 以及测试设备工作过程中测试内容进行合理的分散处理, 实现人员操作与测试设备并行工作, 多项测试内容并行执行^[3-4]。

2.2.2 测试功能本地化

弹药现有测试保障过程中各测试流程节点需在上一节点完成前提下方可启动执行, 测试过程中缺少测试任务统一调度管理; 通过集中本地化的测试任务统一合理调度, 实现独立测试节点并行执行。将测试保障系统中各测试流程节点通过测试功能本地化处理^[5-6], 集中管控统一调度, 即避免不相关测试资源的等待时间, 提高系统并行协同工作的能力, 提高资源利用率。

3 基于 LXI 并行测试实施方案

LXI 总线是安捷伦公司和 VXI 科技公司于 2005 年 9 月联合推出的基于工业标准以太网的模块化平台标准^[7]。LXI 模块建立在 IEEE802.3, IVI, IEEE1588 等很多工业标准之上。符合 LXI 总线标准的 LXI 模块可以通过开放 LAN 标准 (以太网) 进行互连, 所有操控指令和测量结果均可通过以太网传输, 实现远端显示和操控; 避免对模块控制面板操控的依赖性。对于某些测控点位置较为分散、测控任务较为繁杂、测控量较大的测控系统^[8-9]; 如使用一套设备进行测试, 这必将导致测试时间长, 测试资源使用效率低等问题; 若每测控点分别组建一套测控系统, 每套系统需有本地测控计算机和相应的测控仪器; 这将带来系统结构复杂、重复投入较大和测控资源浪费; 如采用 LXI 总线进行设计, 大多数监测点采用 LXI 模块完成监测点的测量和控制, 又由于各 LXI 模块具备数据传输和远程交互能力, 故各监测点不需本地测控计算机, 各 LXI 模块通过组网可以实现远程分布式控制, 并行协同工作, 系统结构清晰, 灵活性、开放性和测控资源利用率较高^[10]。故基于 LXI 总线的网络化控制系统较适合于分布式, 多任务, 并行测试系统设计。

3.1 基于 LXI 多个 UUT 并行测试

将测试资源分散化处理为多个支持 LXI 总线的测试仪器功能模块, 满足测试需求相关性较低的多个 UUT 进行并行测试, 以提高弹药测试保障系统的测试效率。多个 UUT 并行测试系统主要由信号调理适配器、中低频测试资源仪器、各 UUT 定制的专用测试组件、电源等公用测试资源、网络交换机、本地控制计算机以及将上述系统连接起来的 LXI 总线网络组成。系统工作原理如下图 1 所示。

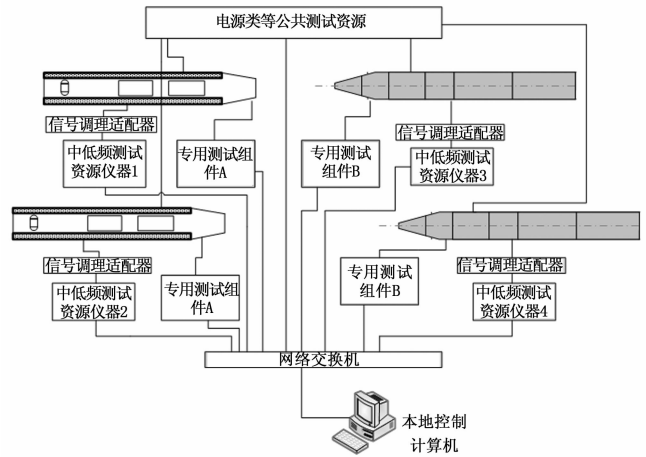


图 1 基于 LXI 多个 UUT 并行测试系统原理框图

信号调理适配器将测试对象测试接口信号进行调理、隔离以及标标准化处理, 然后与中低频测试资源仪器进行连接, 实现测试过程中中低频信号测试; 专用测试组件为各种不同 UUT 提供定制的测试所需信号; 电源等公共测试资源为各 UUT 测试过程中提供测试所需电源以及必要的电源保护; 最终使用 LXI 总线将各个模块进行连接组网, 使用本地控制计算机协调统一调度管理各个 UUT 测试任务, 实现多 UUT 并行测试的目的。

3.2 基于 LXI 单个 UUT 多任务并行测试

通过 UUT 测试性设计将 UUT 测试流程进行分解, 使用统一任务调度管理实现多个测试仪器对单个 UUT 多个测试流程进行并行测试。基于 LXI 单个 UUT 多任务并行测试系统由信号调理适配器、中低频测试资源仪器、专用测试组件、电源等公共测试资源、网络交换机、LXI 总线网络以及本地控制计算机组成。单个 UUT 多任务并行测试工作原理框图如图 2 所示。

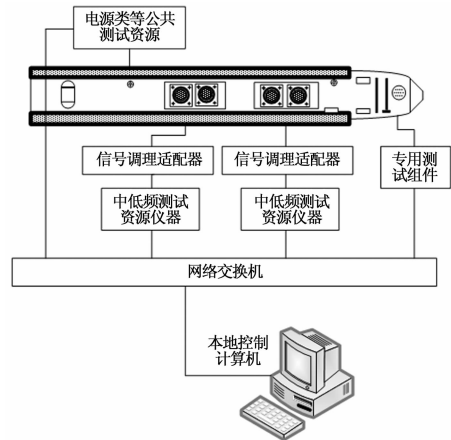


图 2 单个 UUT 多任务并行测试工作原理图

信号调理适配器对 UUT 各测试接口输入输出信号进行调理、隔离和标准化处理使其能够与中低频测试资源仪器连接; 专用测试组件为 UUT 测试过程中特殊部件提供测试资源和信号模拟; 电源等公共测试接口为 UUT 各单元测试提供所需工作电源。本地控制计算机通过交换机和 LXI 总线网络将各个测试资源模块进行连接, 使用测试流程对各个测试资源模块进行通过测试任务调度管理完成单个 UUT 多个测试任务的并行

执行。缩短单个 UUT 测试时间和测试系统的测试效率。

3.3 基于 LXI 并行测试软件平台架构

软件平台划分为测试程序集和测试执行平台两部分。测试程序集是面向用户的，运行于用户终端，包括测试需求、测试流程描述、界面显示；测试执行平台为软件提供任务调度和测试资源执行管理。软件平台组成框图如图 3 所示。

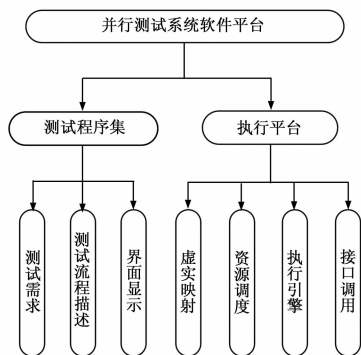


图 3 软件平台组成图

测试执行平台是并行测试实现的关键，具有以下功能：

- 1) 多线程服务响应和并行操作协调规划；
- 2) 用户逻辑资源虚实映射、软硬件测试资源分配与配置；
- 3) 多线程资源服务的资源调度、冲突消解，解决资源竞争和死锁问题；
- 4) 实时掌握系统的运行状态，包括测试任务的运行状态、测试进程，硬件资源的状态、配置等；
- 5) 提供硬件操作的底层执行软件及其标准的调用接口。

为提供多任务并行测试资源服务，测试执行平台采取多线程工作方式，实现对各个测试操作的资源调度和共享，同时实现对测试流程运行状态的协调。软件平台运行与调度过程如图 4 所示。

软件平台通过基于 IEEE1761 标准的 ATML 通用操作接口实现测试配置、测试结果等不同数据间的操作，通过 IVI 仪器驱动调用接口实现对仪器的调用，平台在逻辑运行层面实现界面调度、数据传送、消息映射、资源调度、逻辑控制、内存管理、仪器管理等功能，并在该层次支持多线程的运行，以满足并行测试过程中所需运行逻辑。

4 关键技术及技术难点

4.1 测试资源配置

并行测试资源配置，即为根据分解后的测试子任务特点以及对测试资源占用的优先级，将测试子任务分配至对应测试硬件资源中，进行子任务执行，基于上述依据实现子任务调配，大幅提高弹药自动测试系统测试资源利用率与测试系统的测试效率。基于被测对象测试过程中所需测试资源种类以及测试点相关性进行分析，将测试任务进一步分解为一系列与测试资源无关、前后测试数据无相关的测试子任务，然后通过测试系统并行执行完成，保障测试资源使用不会发生冲突与抢占现象。测试资源调配可以提高原有测试系统中测试资源的利用率和提高测试系统工作效率。

4.2 测试任务调度

弹药自动化测试系统中资源的并行协调工作，大幅提高了弹药自动化测试系统资源利用率；同时为弹药自动测试系统的

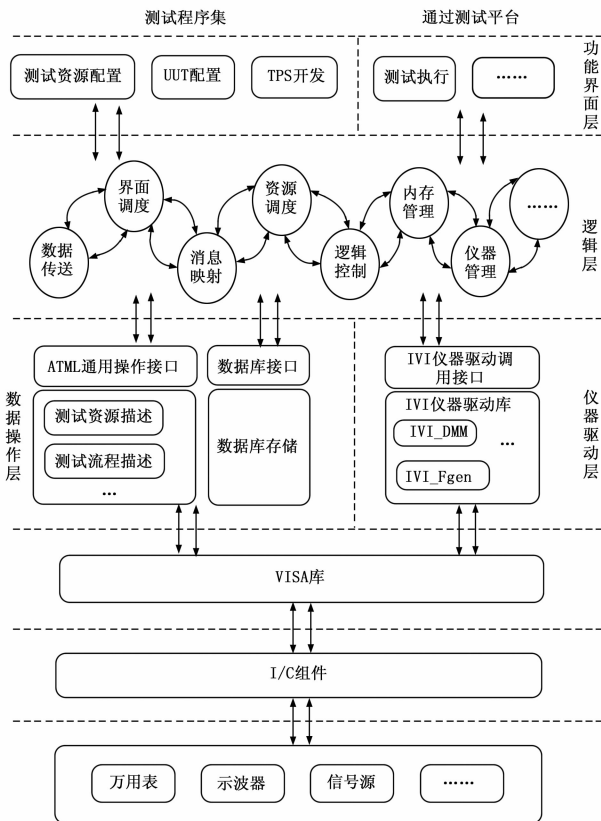


图 4 软件运行架构图

个子任务调配带来了较大的数据分析压力。子任务调配过程中急需解决的难题主要为任务调配过程中测试资源冲突问题。有效解决该问题主要手段有任务调度算法设计、系统任务调度模型建模、任务调度引擎设计等。通过算法对子任务进行分析得到任务调度执行序列、通过建立子任务调度模型进行子任务调度管理、通过子任务调度引擎进行任务调度软件平台设计，以解决测试子任务顺利执行的同时不会发生测试资源的冲突。

5 结论

随着信息技术为核心的高新科学技术在现代军事中的应用，现代化的军事战争对机载制导弹药的作战性能和高效快捷的保障系统提出了越来越高的要求。机载制导弹药并行测试已成为弹药保障技术发展的必然趋势。本文提出一种基于 LXI 总线的机载制导弹药并行测试方法，并分析具体实施方案以及系统设计的关键技术，为弹药并行测试提出了一种解决思路和设计参考。

参考文献：

[1] 黄盛霖, 沈聪辉, 孙伟超, 等. 下一代自动测试系统的核心: 合成仪器系统 [J]. 电子测量技术, 2011, 34 (5): 64-67.

[2] 许屹晖, 李执力, 王震宇. 新一代军用 ATS 技术体系和关键技术研究 [J]. 现代防御技术, 2010, 38 (2): 35-40.

[3] 许克君, 杨锁昌, 杨森, 等. 基于 LXI 总线的制导站分布式测试系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (3): 554-556.

[4] 徐昕, 徐玮, 肖勇. LXI 总线接口的设计及其在军用测试系统中的应用 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (10): 1996-2000.

表 3 实验 A 控制器软件配置项需求管理表

配置项名称	实验 A 控制器软件配置项
配置项工作模式	待机模式、实验模式、复位模式、自检模式
配置项功能	完成实验 A 的流程控制、温度采集和控制
可靠性和安全性要求	对温度超出阈值的情况进行处理; 采用主备机双备份控制;
配置项性能指标	工程数据响应、处理时间小于 64ms; RS422 接收中断处理时间小于 5ms;
配置项接口	1553B;RS422(协议具体内容略去)
软件需求对系统分析与设计的覆盖情况	需求已完整覆盖系统分析与设计的要求
需求变更对系统分析与设计的影响	需求无变更
.....

此外, 在管理角度方面, 软件工程管理根据软件管理的不同侧面开展相关的管理工作, 将各管理角度的信息整理成表格, 并对其中的问题采取相应的措施。项目的进度管理信息如表 4 所示, 其他角度的管理方式类似。

表 4 系统软件进度管理表

配置项名称	系统分析与设计管理	软件需求管理	软件设计管理	软件实现管理	软件测试管理	软件验收管理	软件维护管理
实验 A 控制器软件配置项	已按时完成, 并通过评审	已按时完成, 并通过评审	已按时完成, 并通过评审	已按时完成, 并通过评审	已按时完成, 并通过评审	已按时完成, 并通过评审	已按时完成, 并通过评审
.....

综上所述, 本章采用上述软件工程管理模型, 对某型号软件系统项目进行了实例应用研究, 完成了全部管理层次、管理周期和管理角度的软件工程管理工作。根据实际执行情况表明, 该系统顺利完成了型号软件任务要求, 管理工作成功有效。

3 结论

为了提高软件工程项目管理的水平, 解决软件工程中面临的困难, 文中提出了一套完整、易于实施、体现技术管理特点的软件工程管理模型, 并通过一个项目实例进行分析和验证。实例验证表明, 该模型以技术为主导, 以表格为支撑, 分层次、全周期、多角度的开展了软件工程管理工作, 体现了在这三个维度上立体管理的优势, 保证了型号项目任务的成功完成。

接下来, 软件工程管理的研究和实践存在着以下几个发展方向:

1) 软件工程管理的层次、周期、角度可以进一步扩充和完善, 同时可以根据需要进行适当裁剪, 做到及时高效的管理工程项目, 保证软件质量。

2) 软件工程管理应与技术紧密结合, 同时积累各种管理的数据和记录, 防止决策和管理时缺乏依据, 避免“拍脑袋”式管理的发生。

3) 软件工程管理需要将诸多相关标准、规范、指南的要求本地化、实例化, 在工程实践中将这些要求落到实处。

综上所述, 工程应用中对提高软件工程管理水平的需求十分迫切, 需要工程界进一步研究合理高效的管理方法, 同时积累工程项目中的宝贵经验, 为保证软件工程项目的顺利实施提供帮助。

参考文献:

[1] 石柱. 软件质量管理 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.
 [2] 臧卫东, 王芸. 软件工程管理策略 [J]. 文通与计算机, 1995, 13 (5): 72-78.
 [3] 石柱. 航天型号软件工程化十年回顾与展望 [J]. 航天控制, 2006, 24 (4): 66-72.
 [4] 于克达. 软件工程管理的现状和创新策略 [J]. 微计算机信息, 2012, 28 (5): 111-113.
 [5] GJB 5000A. 军用软件研制能力成熟度模型 [S]. 2008.
 [6] GJB 5235. 军用软件配置管理 [S]. 2004.
 [7] GJB/Z 102. 软件可靠性和安全性设计准则 [S]. 1997.
 [8] GJB 2786A. 军用软件开发通用要求 [S]. 2009.
 [9] GJB/Z 141. 军用软件测试指南 [S]. 2004.
 [10] 段永. 基于 CMM 的软件工程管理工具的研究与实现 [D]. 成都: 成都电子科技大学, 2010, 3.
 [11] 罗俊伟. 软件需求管理工具的研究与实现 [D]. 北京: 中国科学院软件研究所, 2003, 6.
 [12] 许慧. 基于 Rational 工具的软件测试管理和测试自动化的分析与研究 [D]. 济南: 山东大学, 2005.
 [13] 单锦辉, 姜瑛, 孙萍. 软件测试研究进展 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 2005, 41 (1): 134-145.
 [14] 冷先刚. 软件测试模型与方法研究 [D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.
 [15] 康壮. 软件开发项目管理方法研究 [D]. 北京: 对外经济贸易大学, 2003.
 [16] 孙海霞, 许厚棣. 基于 GJB5000A 的军用软件维护流程研究 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (10): 3445-3447.
 [17] 傅谦, 张申生, 曹健. 面向软件工程的工作流管理系统 [J]. 上海交通大学学报, 2002, 36 (9): 1351-1354.
 [18] 方木云. 动态规划算法在软件工程管理中的应用 [J]. 微机发展, 2004, 14 (1): 29-33.
 [19] 田华. 计算机软件工程管理方案初探 [J]. 煤炭技术, 2011, 30 (1): 233-235.
 [20] 王勇. 软件工程与软件质量管理 [D]. 北京: 中国科学院计算技术研究所, 1997.
 org, August 2006.

(上接第 146 页)

[5] Sun B J, Q in H L, Shen S T. An automatic design technique for hardware system of ATS [A]. 2006 IEEE Autotestcon Proceedings [C]. Anaheim, CA, 2006: 386-396.
 [6] 邓启斌, 夏智勋. 基于 LXI 总线的分布式测试系统设计与应用 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (7): 1273-1275.
 [7] LXI Consortium LXI Standard v1.1 [S/OL]. www.lxis tandard.

[8] 许克君, 杨锁昌, 杨森, 等. 基于 LXI 总线的制导站分布式测试系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (3): 554-559.
 [9] 张启蒙, 于劲松, 周振彪, 等. 基于 LXI 总线的可重构软硬件一体测试仪 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (7): 1687-1690.
 [10] 苟新禹, 肖明清, 王承孝. LXI 总线自动测试系统拓扑结构研究 [J]. 电子测量技术, 2007, 30 (11): 126-128.