

战略导弹试验模拟系统开发平台设计

吕沧海, 申宇皓

(太原卫星发射中心试验技术部, 太原 030027)

摘要: 为满足新型武器系统靶场一体化联合试验、训练与保障的需求, 克服传统面向具体导弹型号的模拟训练系统缺乏灵活性和扩展性的不足, 提出了设计“试验模拟系统制造工厂”的新理念, 即构建通用的战略导弹试验模拟系统开发平台, 由用户根据具体导弹型号的需求, 基于开发平台进行二次开发自行生产出特定的仿真训练系统; 设计了试验模拟系统功能和开发平台结构, 采用组件式、平台化、脚本化的开发思路, 给出了开发平台的具体技术实现途径, 包括: 仿真模型设计、仿真服务总线设计、组件化/脚本化设计、设备模型仿真设计、原理仿真设计、信息流程可视化仿真设计、系统运行流程设计等, 最后给出了飞行仿真的设计演示情况; 所设计的开发平台将为试验、作战、指挥等岗位技术人员提供丰富的模拟训练及考核评估手段。

关键词: 战略导弹; 试验模拟; 开发平台设计

Design on Development Platform of Strategic Missile Experiment Simulation System

Lü Canghai, Shen Yuhao

(Taiyuan Satellite Launch Center Technical Section, Taiyuan 030027, China)

Abstract: In order to satisfy the need of the integrated combined test, train, and support for new weapon systems in a range, and overcome the defects of less flexibility and extensibility for traditional simulated training systems of an oriented specific missile, a new concept of designing a “Test Simulated System Manufacturing Plant” was introduced. It meant that a universal development platform of a strategic missile test simulated training system was constructed, and a typical simulated training system was produced by users according to a given missile based on the development platform. In this paper, the functions of a test simulated system and the structure of the development platform were designed. A component, platform, script development method was adopted. The specific design realization approach of the development platform was discussed, including: simulation model, simulation service bus, component and script, device simulation model, principle simulation, information flow visual simulation, system operational process, and so on. The demonstration of a flight simulation design was given. The development platform would provide rich training and evaluation means for test, combat, command staff.

Keywords: strategic missile; experiment simulation; development platform design

0 引言

新型导弹武器系统, 具有信息化、智能化、集成化等显著特点, 在提高测试发射自动化水平的同时, 其测试发射原理对用户的高度封闭性, 给总体、操作等岗位技术人员对武器系统技术性能的掌握带来一定困难。面对新的航天装备及战略武器发展形势, 试验靶场在强调提高战略导弹试验鉴定能力和航天发射能力的同时, 也应具备为导弹试验与作战部队提供一体化联合试验训练环境的能力^[1]。研究构建战略导弹一体化试验模拟系统, 实现对测试发射、飞行控制等关键试验过程的模拟仿真, 为试验、作战部队操作、指挥等岗位技术人员提供模拟训练及考核评估手段, 是一项影响靶场未来试验能力的重要任务。

目前针对具体型号开发的模拟训练系统, 采用集中式训练方式, 面向具体型号, 存在使用不够灵活、扩展能力不够等缺点, 如文献 [2-5]。不同型号设计原理、试验流程均有所不

同, 受保密、知识产权等因素限制, 所能获取到的试验信息资源的范围、细致度也有所不同。若针对每一具体型号均开发一套试验模拟系统, 显然是不现实的, 也是不科学的。建立一个公共的战略导弹试验模拟系统开发平台, 以此平台为基础, 由用户逐步搭建针对不同型号的应用系统, 应用系统的模拟深度、广度, 可随着试验信息资源的不断扩充逐步壮大。

本文提出的战略导弹试验模拟系统开发平台具体设计方案, 以计算机仿真技术、虚拟现实技术、数据库技术等一批成熟技术为支撑^[6], 将开发、调试、验证、运行、分析等各种仿真功能进行整合, 面向操作、面向设备、面向流程、面向指挥, 创立“试验模拟系统制造工厂”的新理念。

1 试验模拟系统设计

战略导弹试验模拟系统功能组成结构如图 1 所示。通过对测试环境、测试原理、系统指挥的模拟仿真实现对测试发射主要试验过程的模拟。模拟试验调度及信息管理系统支持模拟试验的开发与运行。

1.1 测试环境模拟

测试环境模拟实现对控制、测量等系统主要测试设备的模拟仿真。仪器设备的操作、显示、状态界面与实际系统基本一致, 岗位操作手可以按操作规程在虚拟仪器面板上执行测试发射操作。

收稿日期: 2015-10-08; 修回日期: 2015-12-18。

作者简介: 吕沧海(1968-), 男, 山西五寨人, 高级工程师, 博士, 主要从事仿真模拟系统开发方向的研究。

申宇皓(1980-), 男, 山西太原人, 工程师, 博士, 主要从事仿真模拟系统开发方向的研究。

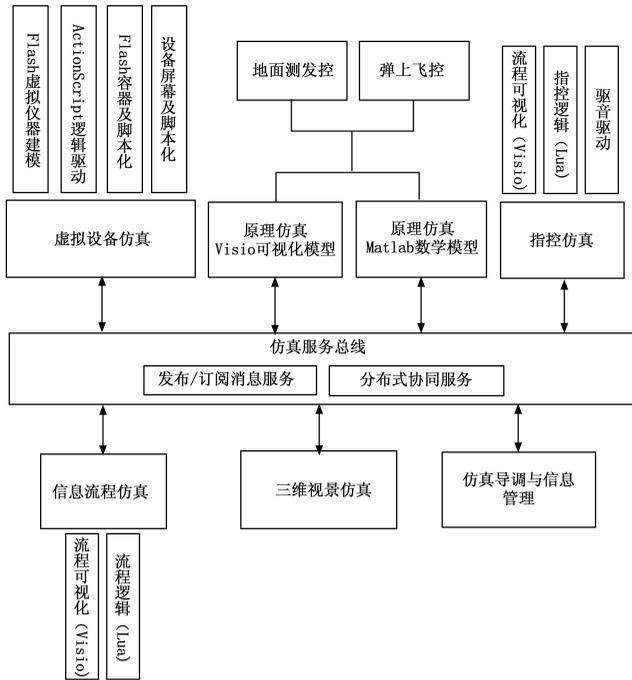


图 3 试验模拟系统总体结构

监视的设备，其仪器面板主要由开关、按钮、指示灯等元件组成，在进行试验模拟时，可在模拟仪器面板上执行相应的操作与监视；另一类是测发控指令的解析、处理及执行设备，测试发射时自动运行。

在进行模型设计时，针对第一类设备需要建立与实际设备外形一致的虚拟操作界面，并对仪器面板上的开关、按钮、指示灯等组件的属性、功能及信息接口进行定义。针对第二类设备不进行虚拟仪器界面的设计，只需定义设备的输入、输出接口属性及功能即可。

2) 弹上仪器设备模型：

弹上仪器设备主要是指完成导弹飞行控制任务的敏感装置、配电器、放大器、弹上计算机、伺服机构等控制系统设备，以及完成飞行测量任务的遥测、外测设备。

在进行模型设计时，主要是定义设备的输入、输出接口属性及功能。

3) 信号与信息通道模型：

信号与信息通道模型是指设备间的连接电缆模型，试验模拟时完成信息传递模拟仿真任务。在进行模型设计时，主要是定义设备的输入、输出接口属性及功能。

3.2.2 原理模型

试验模拟时对导弹测试发射及飞行控制进行原理仿真是本项目的核心设计内容，要求关键事件、过程能够数据驱动，原理模型自动执行，并可根据训练考核评估及故障诊断扩展应用需求，具备故障点设置等能力。原理模型主要包括电路原理、信息原理、飞行控制原理等仿真模型。进行原理模型设计时，以测试指令、飞行时序、模拟数据等信息为输入，驱动相应原理模型自动运行。

3.2.3 弹体结构模型

弹体结构模型在试验模拟过程中实现 3D 飞行仿真，要求飞行关键事件、飞行运动姿态实现数据驱动。模型建立时，在

建立基本结构组件的基础上，根据具体型号特征生成仿真模型。

3.2.4 信息源模型

信息源模型主要包括指挥操作流程、测试项目、飞行时序、仿真驱动模拟数据等。在试验模拟过程中，作为测试、发射、飞行原理仿真的驱动信息。模型设计时按模拟仿真需求，定义方便调用的数据结构及其输出接口功能。

3.3 仿真服务总线

仿真服务总线提供两类服务：发布/订阅服务、分布式协同服务。发布/订阅服务采用 DDS 数据分发服务软件实现，分布式协同服务使用 Zookeeper 软件实现。

1) 发布/订阅服务：

发布者为自己要发布的数据设置一个主题，并向该主题中发布数据，订阅就可以通过订阅该主题而实时获取发布者提供的数据。同时，在数据发布/订阅过程中实现相关策略配置。

2) 分布式协同服务：

分布式协同服务通过 Zookeeper 实现仿真系统中状态一致性服务，保证各个仿真节点对全局状态有一个一致的认识，保证关键性状态数据的“顺序一致性”。

3.4 组件化/脚本化设计

使用 Qt QML/JavaScript 进行脚本化开发，使用 QML extension plugin 进行组件开发。

QML 是一种用来创建高度动态应用程序的声明式脚本语言，主要用来描述应用程序的外观（菜单、按钮、布局等）以及行为（点击事件），同时利用 QML extension plugin (C++) 架构，以组件的方式对 QML 的对象进行功能扩展。

3.5 设备模型仿真设计

设备模型仿真设计如图 4 所示，主要涉及 4 项内容。

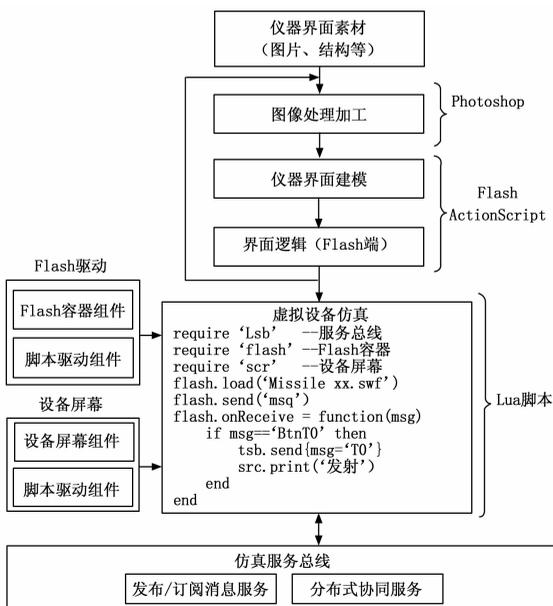


图 4 设备模型仿真

1) Flash 虚拟仪器建模：利用 Flash 结合图像处理工具绘制设备控制面板，建立与真实设备面板相似的模型，定义面板中开关、按钮等组件的键值模型；提供组件输入输出控制接口，用于面板图形交互控制，实现 Flash 模式的虚拟仪器设备模型。

2) ActionScript 逻辑驱动：实现虚拟仪器设备处理逻辑控

制, 将面板的输入消息进行功能转换将处理后的消息输出; 将接收的消息转换为面板对应的输入显示信号, 驱动面板操作响应; 处理指令的解析、执行等行为。

利用 ActionScript 实现内容与用户的交互: 定义各按钮按钮的功能, 点击按钮按钮时实现用户想定数据的输入, 根据用户数据输入进行相关逻辑处理; 根据数据处理情况及外部数据驱动点亮面板相关指示灯, 提示处理状态, 并按需发送相关处理结果状态数据仿真服务总线, 实现与用户的交互与控制。这种方式主要实现对第一类设备的虚拟模拟仿真。

利用 ActionScript 实现 Flash 中内容与内容的交互: 定义设备的处理功能实现输入数据的处理转换, 对设备功能进行仿真, 实现内容与内容的交互。这种方式主要实现对第二类设备的虚拟模拟仿真。

3) Flash 容器: 加载 Flash 虚拟仪器设备模型并显示, 控制显示的区域、窗口大小, 实现对仿真视图的控制。Flash 容器采用 MFC 窗口实现, 通过调用 Flash 控件的方式实现对 Flash 的加载、播放及控制。利用脚本化集成技术对 Flash 容器实现进行封装处理, 将相关的定制接口脚本化, 实现容器的脚本化定制。

4) 设备屏幕: 模拟设备屏幕内容显示输出功能, 显示相关的数据处理信息, 模拟设备输出交互功能。利用 COM 组件技术制定虚拟设备的屏幕显示属性及显示内容。COM 是组件对象模型, 是微软公司推出的组件标准。COM 组件的功能都是由 COM 接口函数实现的, 因此在创建对象后, 就可以调用接口函数使用所需的功能, COM 组件的运行可以看成是一系列接口函数的调用。屏幕界面采用 COM 组件方式定制实现, 可提高系统的稳定性, 实现系统的快速高效开发。同时, 利用脚本化集成技术对其进行封装, 在脚本中实现显示功能的灵活定制。

3.6 原理仿真设计

试验模拟时对测试发射及飞行控制进行原理仿真是本系统的核心设计内容, 要求关键事件、过程能够数据驱动, 原理模型自动执行, 并可训练考核评估及故障诊断扩展应用, 具备故障点设置等能力。原理模型主要包括电路原理、信息原理、飞行控制原理等仿真模型, 实现对测发控、飞控的电路原理进行数学仿真。电路原理模型由基本电路元器件, 按实际电路搭建形成, 利用电路仿真软件实现电路原理仿真, 对原理中的关键点设置事件触发, 实现可视化的信息提示。原理仿真过程如图 5 所示。

1) 基于 Matlab 的电路原理/流程事件仿真建模:

电路原理建模使用 Simulink 中的 Power System Blockset 模块实现。主要使用电源模块 (Electrical Sources)、基础电路模块 (Elements)、电力电子模块 (Power Electronics)、电机模块 (Machines)、连接器模块 (Connectors)、测量模块 (Measurements) 以及附加功率模块 (PowerExtras) 等七种模块库。

对于测试发射指挥流程, 采用 SimEvents/Stateflow 工具箱进行离散事件仿真, 引入“信号”、“状态”等信息, 实现对测发控、指控中的离散事件、物理状态进行详细建模, 实现测发控、指控中离散事件系统的全流程建模, 即实现“事件”、“信号”、“状态”综合对仿真系统的整体驱动。在建模过程中, Simulink、StateFlow 建模部分均以子模块形式嵌入到流程仿真模型中, 为用户提供统一的仿真交互操作。

2) 仿真总线与 Matlab 接口:

基于 Matlab 的电路原理/流程事件仿真建模需要与外界进行必要的信息交互, 从仿真总线接收消息驱动仿真, 发送 Matlab 仿真结果到仿真总线, 即实现仿真总线与 Matlab 的互联互通互操作。仿真总线 Matlab 接口组件主要基于 S-Function 实现。S-Function 提供了扩展 Simulink 模块库的有力工具, 使得自定义函数能够和 Simulink 解法器进行数据交互。

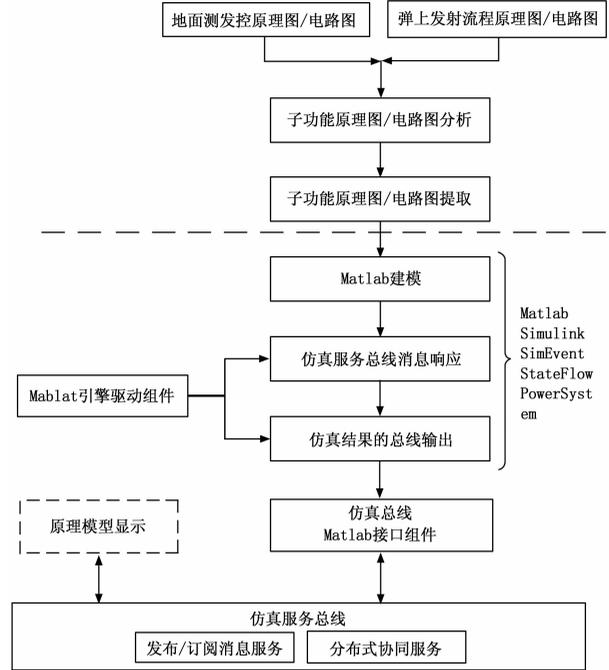


图 5 原理仿真建模流程

3.7 信息流程可视化仿真设计

信息流程可视化主要对测发控、飞控的控制原理与流程进行可视化仿真, 将控制原理抽象为控制流程图, 建立控制原理模型; 利用测发控、飞控的电路原理仿真结果数据驱动可视化界面, 对当前执行流程进行可视化提示, 给作战训练人员直观的控制原理展示。信息流程主要包括指挥操作流程、测试、控制、飞行时序等, 依据测试、发射及飞行原理, 建立试验过程中的信息流的流程图模型, 进行时序逻辑的可视化, 直观展示信息流程动态过程。

可视化建模与驱动采用通用办公软件 Microsoft Office 中的 Visio 绘图软件的 COM 组件实现, 利用 Visio 的 ActiveX 控件, 使用 Automation 自动化控件开发技术对其进行二次开发, 同时利用脚本从仿真服务总线接收相关数据, 驱动信息流程图的动态显示与控制。基于 Visio 进行信息流程可视化, 具有节省开发时间、维护方便、升级方便容易等优点。信息流程可视化仿真过程如图 6 所示。

3.8 系统运行流程设计

运行流程分为 4 种: 模型开发流程、故障注入流程、试验模拟流程、考核评估流程。如图 7、图 8 所示。

1) 模型开发和故障注入流程:

模型开发流程针对试验模拟系统的二次开发者或修改者, 利用平台所提供的各类组件进行虚拟设备、数学模型、可视化模型、原理/信息流/指控模型的开发、调试及修改。

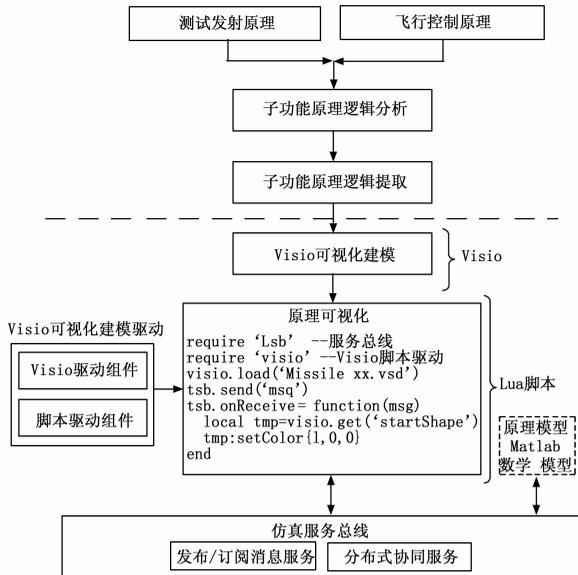


图 6 信息流程可视化仿真

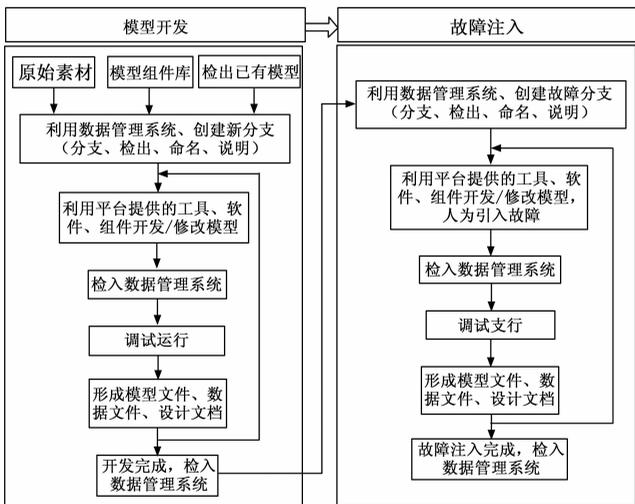


图 7 模型开发与故障注入流程

故障注入流程通过修改已开发的数学模型、原理模型、信息流程模型，人为设置故障点，实现故障的模拟。

2) 试验模拟和考核评估流程:

试验模拟和考核评估流程主要使用人员试验模拟的用户及模拟训练对象。

试验模拟流程利用仿真导调控制软件，加载试验模拟的想定文件，分配仿真节点、配置运行环境，将各节点分配的可行模型检出到本地，然后，通过仿真导调控制启动试验模拟程序的运行、监控和控制。

考核评估流程根据评估指标体系，编写相应指标的评估脚本，在试验模拟过程实时监控仿真服务总线中的总线数据，计算评估准则，从而给出定量评估结论。

4 效果演示

为了展现未来开发平台的运行效果，设计了平台的运行界面，平台应能够完成虚拟设备模型、原理模型、流程建模等上述的诸多功能，且界面友好。其中三维视景仿真的设计界面如

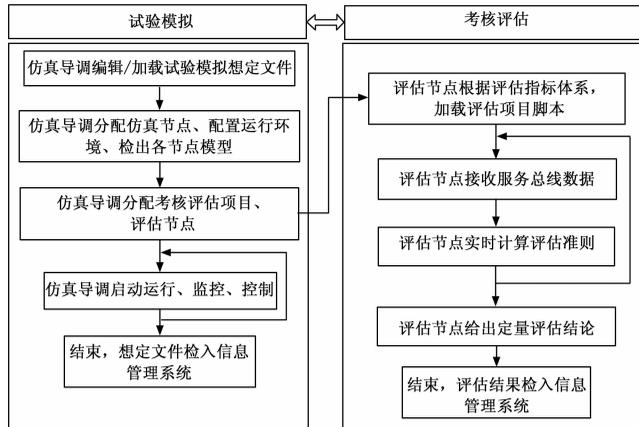


图 8 试验模拟和考核评估流程

图 9 所示，包括：配置、属性设置、控制脚本编辑、视景演示等几个部分。



图 9 三维视景仿真的设计界面

5 结束语

本文针对战略导弹试验模拟系统建设需求，创立了“试验模拟系统制造工厂”的新理念。提出战略导弹试验模拟系统开发平台的设计方案、技术途径。基于“组件式、平台化、脚本化”设计思想，解决试验模拟系统建设中遇到的“通用化”技术难题。应用该平台，用户可以方便、高效地生成针对具体导弹型号的试验模拟系统应用实例，实现基于数据驱动的测试发射、飞行控制原理或逻辑仿真，同时具有故障模拟、动态可视化展示等功能。通过对测试发射、飞行控制关键试验过程的模拟仿真，为试验、作战、指挥等岗位技术人员提供模拟训练及考核评估手段。

参考文献:

- [1] 郭齐胜, 罗小明, 董志明. 装备作战仿真概论 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
- [2] 查国云. 某型飞机航空军械仿真训练系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (10): 2455-2458.
- [3] 董志明, 王 凯, 彭文成, 等. 新型指控通信装备仿真训练系统设计与实现 [J]. 系统仿真学报, 2010, 22 (1): 93-101.
- [4] 杨 军. 基于信息系统的炮兵作战训练仿真导调系统设计 [J]. 指挥控制与仿真, 2011, 33 (2): 61-63.
- [5] 张桂洪. 面向航天发射的仿真训练系统研究与总体设计 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010.
- [6] 顾启泰. 离散事件系统建模与仿真 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.