

分布式仿真数字基座 (ZRSim) 白皮书

1. 概述

大型系统软件试验与测试领域需要对来自不同业务领域的仿真应用软件、海量仿真数据、仿真硬件设备以及各类仿真支撑资源进行高效整合。现有技术体制存在着明显的“集成短板”，各仿真系统“烟囱林立”，彼此之间在资源共享、数据互通、仿真业务流程协同等方面不够充分和完善，造成仿真软硬件资源利用率较低，多领域多分系统参与的大规模系统试验在设备集成与调度、子系统软件部署、系统运维、试验数据管理与呈现等环节难以形成整体效应。针对这些问题，以全方位提升系统软件试验与测试环境中各类设施综合管控和利用能力为目标，遵循用户现有技术体系和建设规划，结合试验系统资源动态整合、软件系统界面定制化重组、异构试验资源一体化调度、试验软件版本控制与管理等紧迫需求，建立适用于当前实际需求并能满足未来大规模试验系统构建需求、具有高可靠性、健壮性、可扩展性、异构设备适应性、可管理性的分布式仿真数字基座。

分布式仿真数字基座是为业务提供一种分布式的实时仿真运行控制平台，具备试验规划、试验仿真、数据监控等功能的实时分布式应用支撑系统，构建一个标准化、一体化、敏捷化、具有可扩展性和通用性的实时数据试验仿真环境，实现众多分散系统之间的无缝连接、支持相互操作和资源共享，创建全局性、综合性和延伸性的试验评估体系，达到试验训练“虚实一体、联合一体、逻辑一体”，提升试验评估整体效能，

对提高试验训练综合性能、不受真实地域环境条件约束、减少系统实物试验次数、节省研制经费、缩短研制周期、管控安全风险等方面具有重大意义。

2. 体系架构

分布式仿真数字基座的体系架构分为三层：资源层、服务支撑层和应用层。资源层为仿真系统提供仿真运行所需的设备、模型、通信交互的软硬件环境；服务支撑层屏蔽了底层复杂的网络通信和数据交换，提供了数据发布订阅服务、模型实例化服务和时间同步服务等，既为仿真设计提供了框架接口，又为仿真运行控制提供了运行时的功能服务；应用层通过下层提供的服务功能，构建能实际开展业务的仿真应用系统。

整个分布式仿真数字基座体系架构如下图 1 所示：

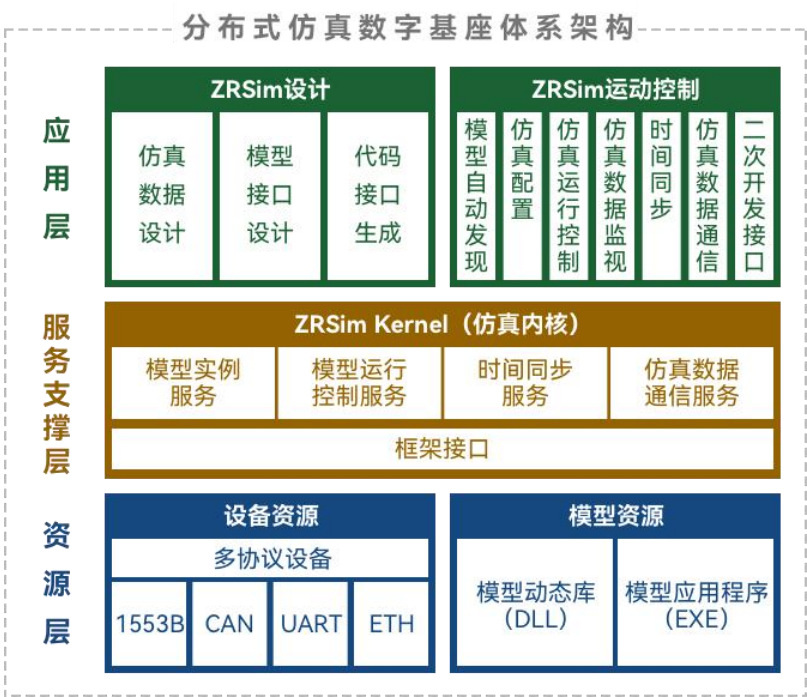


图 1 分布式仿真数字基座体系架构

3. 系统功能

分布式仿真数字基座采用 DDS 通信中间件, 基于数据发布/订阅机制, 支持各仿真节点松耦合集成和仿真模型的动态部署, 通过数据共享、发布订阅通信、时间同步等技术手段, 支持仿真模型同步仿真, 支持仿真场景共享, 具备仿真控制与任务推演、仿真数据监控等能力。分布式仿真数字基座功能组成如图 2 所示:

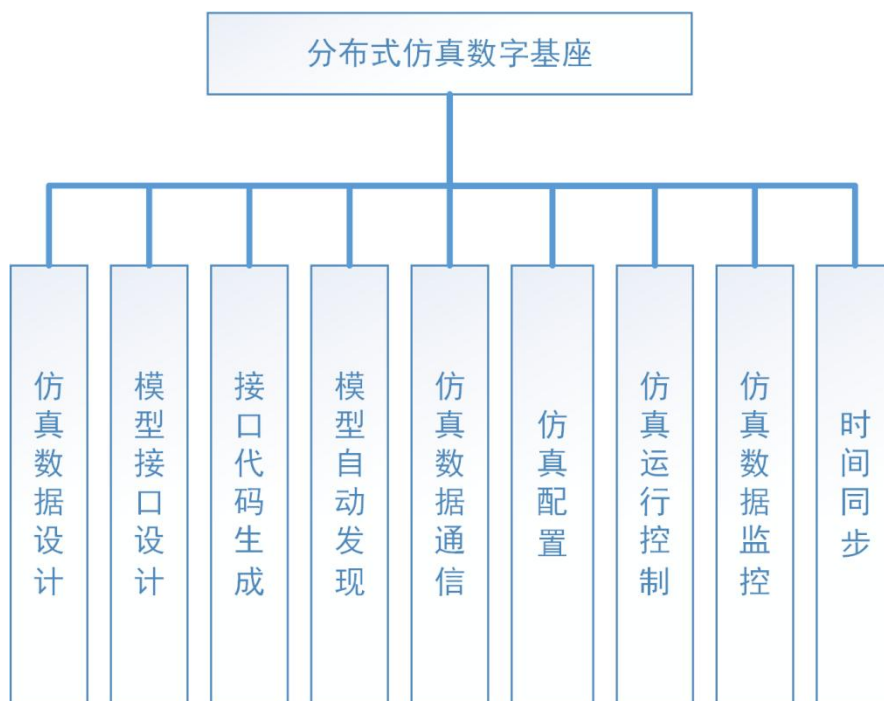


图 2 分布式仿真数字基座功能组成

- (1) 仿真数据设计。提供图形化的仿真数据设计功能, 支持基本数据类型、结构体和枚举类型等通信消息的结构定义;
- (2) 模型接口设计。支持动态管理仿真模型的属性, 提供发布主题消息、订阅主题消息和单步业务计算等个性化接口定义的

能力;

- (3) 接口代码生成。能够根据模型接口定义和系统内置的服务接口, 自动生成面向用户开发需求的模型代码框架和项目工程;
- (4) 模型自动发现。能够基于数据发布订阅模型和模型实例保活心跳机制, 实现系统内所有模型的自动感知;
- (5) 仿真数据通信。提供数据分发服务, 支持模型、设备、管理软件和业务软件之间的基于主题的数据交换; 提供丰富 QoS 服务策略, 能够依据应用需求, 采用不同的配置项及其组合方式, 可满足仿真数据通信在网络延迟、带宽、数据丢包率等关键性指标的要求, 提高数据通信的可靠性;
- (6) 仿真配置。支持构建系统内仿真模型之间的交互关系, 能够配置仿真模型的属性、发布的主题、订阅的主题以及单步业务计算周期等, 形成基于仿真任务的测试场景;
- (7) 仿真运行控制。能够对仿真任务进行初始化; 支持仿真模型的运行控制, 包括启动、停止、暂停、继续等; 能够设置仿真调度的周期和倍速, 协调各仿真模型的运行; 提供仿真模型运行状态、运行日志和任务调度等信息;
- (8) 系统数据监控。支持以订阅主题的方式非侵入性地采集仿真

数据，能够以二维图表、曲线等可视化方式呈现数据；

- (9) 时间同步。提供基于 NTP、PTP 等时间同步服务，支持实时和欠实时仿真的同步推进，支持逻辑时钟的协调步进。

通过综合运用这些模块所提供的功能,分布式仿真数字基座可以更好地模拟和评估不同仿真方案和仿真模型算法,有力支持相关决策和训练，其主要界面如图 3 所示。

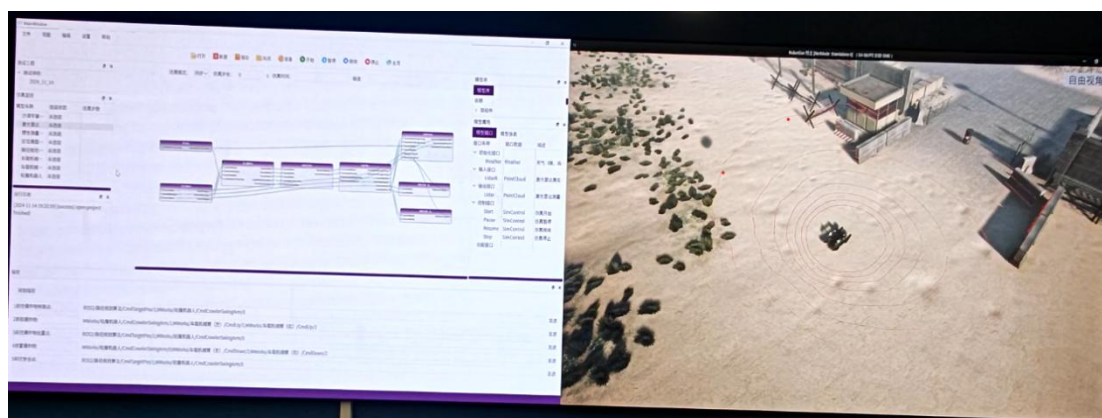


图 3 分布式仿真数字基座主界面

4. 应用流程

从实施仿真任务的角度来看,整个系统的应用流程可分为任务规划设计、仿真开发、仿真运行和仿真分析四个阶段。

首先，仿真规划人员依据仿真测试验证的总体设计、总体论证、系统综合集成等研制任务目标，根据想定的仿真场景，对仿真任务进行需求分析，利用设计工具，制定仿真任务的规划、部署和实际运行方案；

然后，系统管理人员和运维人员依据仿真任务方案，搭建软硬件仿真环境。同时，仿真研发人员根据联合仿真任务要求，使用仿真数据设计、模型接口设计和接口代码生成等工具，开发相关的仿真模型执行实体。

其次，仿真规划人员根据仿真目的和规划，利用仿真配置功能进行任务场景配置，构建任务运行方案。启动仿真任务运行后，仿真测试人员利用仿真运行控制工具对系统进行控制调度，并监控仿真数据的流动和变化。

最后，在完成仿真试验任务后，综合评估分析人员利用数据分析等工具进行仿真的事后分析与评估，生成仿真评估报告。

分布式仿真数字基座的应用流程如图 4 所示。

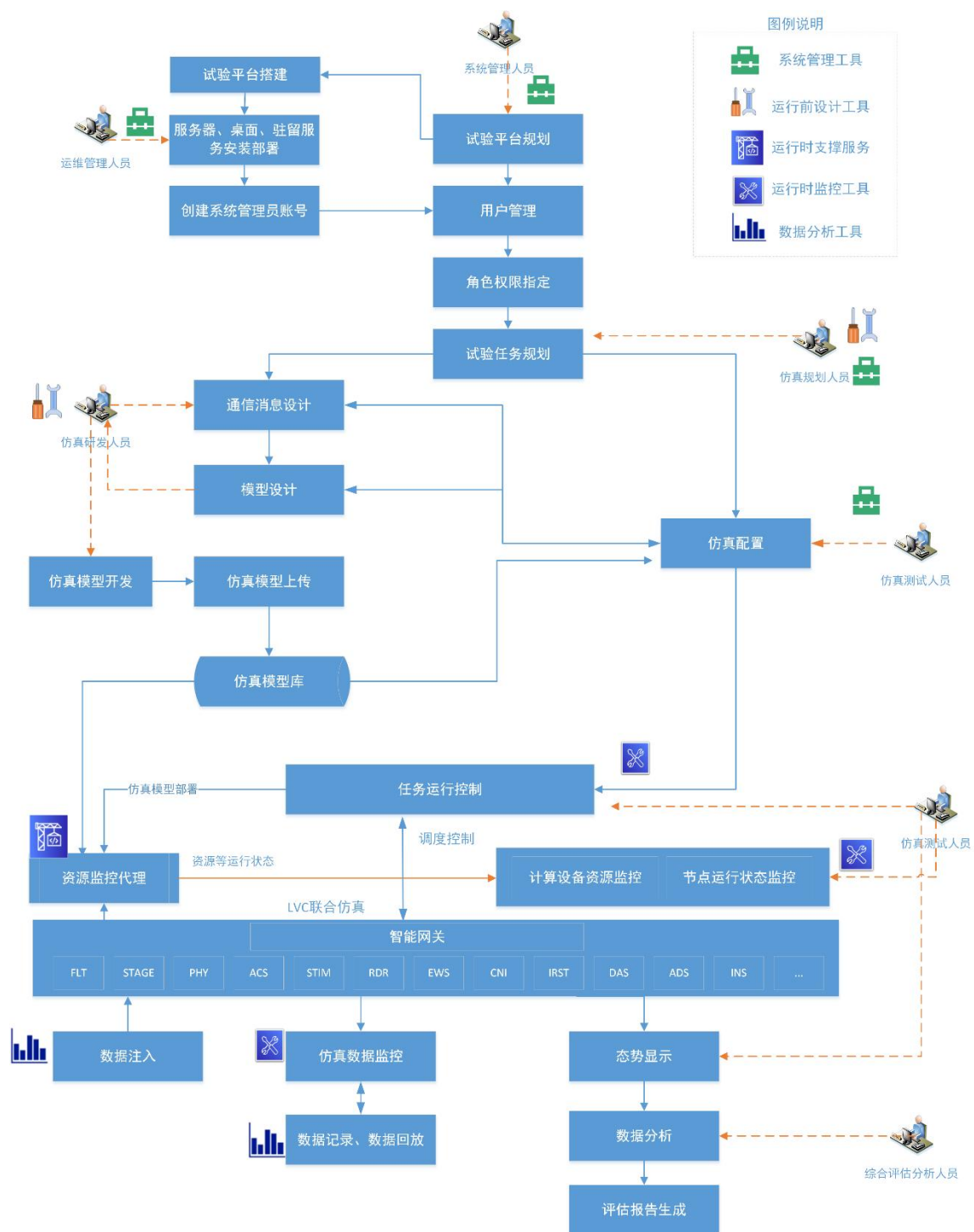


图 4 分布式仿真数字基座应用流程

5. 性能

※ 具备同时支持数字化、实物以及半实物仿真的能力，可集成硬

件设备节点数不少于 512 台，单仿真平台可集成软件模型数不少于 1024 个；

※ 仿真业务逻辑驱动最小周期 10ms。

6. 软硬件适配型号

硬件架构包括 x86 系列的 PC、服务器以及 PPC 架构的嵌入式系统，操作系统包括 Windows XP/7、Windows Server 2003/2008、Linux、VxWorks 等。

7. 运行环境

硬件环境：满足 Intel Core i5 以上、32GB 以上内存、1TB 固态硬盘，USB2.0，1000/100Mbps 标准网口等指标的高性能主机。

软件环境：Windows XP/7、Windows Server 2003/2008、Linux、VxWorks 等。

8. 能力优势

※ 专注单平台、多平台协同和跨域联合仿真；

※ 专攻分布式异构复杂系统集成。基于开放式系统架构，采用模块化、软硬解耦、松耦合集成、标准接口等手段，实现规模可裁剪、硬件可重组、软件可重配、功能可重构、应用互操作等特性需求；通过时间同步、数据资源共享等技术手段，达到系

统整体协同运行、逻辑一致；

- ※ 全流程的试验仿真支撑能力。具备测试验证事前、事中、事后全流程技术支撑，全面涵盖同域、跨域、全域分布式仿真；
- ※ 低代码开发和灵活的扩展能力。基于发布订阅通信机制的仿真模型低代码开发，快速集成模型，灵活扩展系统能力；
- ※ 适应能力强。广泛应用于航天、航空、船舶、电子对抗、汽车、电力等多个军民应用领域。

9. 技术优势

- (1) 完全自主知识产权。系统内核具有完全自主知识产权，提供多种形式的标准开发接口，降低开发难度、缩短研发周期；也可以根据用户的具体需求对内部的任何部分进行修改、裁剪、扩展，为用户提供完全定制化的系统；
- (2) 遵循 OMG 国际标准规范，采用分布式系统架构和松耦合集成技术，实现系统内外互联、互通、互操作，支持全域联合仿真；
- (3) 系统通信完全兼容 OMG-DDS 标准，与符合 OMG-DDS 标准的中间件无缝对接，也与基于这些中间件开发的程序互联互通互操作，提高了软件的可重用性。系统使用与开发语言无关的接口建模语言（IDL）来定义通信模型或数据协议，

实现了各域系统的互操作；

- (4) 动态互连，可靠性高。基于虚拟全局数据空间的无中心的分布式数据架构，仿真模型、仿真节点、仿真设备和平台无需手动配置 IP，通过发布/订阅关系可实现自动相互发现，具备动态组网，即插即用，节点随时加入或退出而不影响原有系统运行；同时，也排除了单点故障的困扰，极大提高了分布式仿真的可靠性；
- (5) 服务质量（QoS）策略丰富，传输多样且实时高效。支持多种通信手段（单播、广播、组播、共享内存等）、多种通信协议（TCP、UDP 等）、可靠和尽力而为的通信模式，满足灵活、高实时、低延时、稳定高效传输性能要求，适应各类仿真场景；
- (6) 便捷实用的仿真工具，加快仿真任务的筹划和实施。支持仿真模型设计、仿真模型框架代码生成、仿真任务设计、运行控制调度、数据监控等，帮助完成筹划、开发、运行和分析评估过程，最大程度降低用户的学习难度和开发工作量，提高了产出效率；
- (7) 数据分析全面，表达准确丰富。实时非侵入式地采集网络通信消息数据，支持文字、图形、表格等方式表达，形式多样，内容全面，界面丰富；

- (8) 践行模块化开放系统（MOSA）设计理念，积极开放拥抱新技术。系统架构强调模块化和开放性，每个模块都定义了开放式接口，允许独立地添加、替换或升级，而不影响其他模块，提高了系统的灵活性、可维护性和可扩展性；同时，模块化和开放式架构的灵活性为未来的技术扩展提供了更多空间，使得来自不同领域和专业的技术更容易被整合到系统中，促进了跨学科的技术融合，有助于快速集成最新技术和创新；
- (9) 跨平台支持。能够屏蔽底层各类异构软硬件资源，支持的操作系统包括 Windows、Linux（银河麒麟）等，支持的 CPU 包括 X86 架构 CPU、飞腾 CPU 等，可集成 Java、C++、Python、Matlab 等异构仿真模型。

10. 应用领域

支持实体装备或样机、半实物、全数学 LVC 异构系统的互连、互通、互操作和一体化集成，为装备的论证研制、演示验证、效能评估、战法研究以及全域联合模拟训练等提供全方位仿真技术支撑。

典型案例：

- ※ 基于 LVC 的联合作战仿真综合集成与测试平台
- ※ 协同作战仿真系统软件架构

※ 多机智能对抗任务系统试验环境互连互操作系统

※ 跨平台协同仿真架构与基础通信平台

※ 编队协同数字仿真与数据分析系统



南京臻融科技有限公司

地址：南京市江宁开发区将军大道迎翠路丽宁科研楼11层

电话：025-52106986

官网：<http://www.zrtechnology.com>