

体系设计与仿真数据贯通研究

卢 峰, 张天维, 刘根旺

(华北计算机系统工程研究所, 北京 100083)

摘 要: 针对体系仿真工程建设中体系设计与仿真两者数据彼此割裂, 不能形成验证闭环的问题, 提出体系设计和仿真数据贯通的理论与方法。体系设计与仿真数据的关系, 是在基于能力设计的理念指导下, 共同支撑从能力需求研究到装备战技指标研究过程。体系设计与仿真数据贯通的作用在于验证体系设计的正确性, 并直观展示任务要素之间的信息传递和交互流程。提出两种数据贯通方法及其适用场景, 并以陆上战场搜救装备体系设计与仿真为例, 具体说明两者数据贯通的设计实现。最后展望数据接口的标准化进程, 强调推进工程反馈闭环的意义。

关键词: 架构设计; 仿真; 搜救装备; 体系

中图分类号: TP311

文献标志码: A

DOI: 10.19358/j.issn.2097-1788.2026.01.011

中文引用格式: 卢峰, 张天维, 刘根旺. 体系设计与仿真数据贯通研究 [J]. 网络安全与数据治理, 2026, 45(1): 72-76.

英文引用格式: Lu Feng, Zhang Tianwei, Liu Genwang. Research of data connection between framework design and simulation [J]. Cyber Security and Data Governance, 2026, 45(1): 72-76.

Research of data connection between framework design and simulation

Lu Feng, Zhang Tianwei, Liu Genwang

(National Computer System Engineering Research Institute of China, Beijing 100083, China)

Abstract: To address the problem that the framework design data isolates from the simulation data in system-of-systems simulation engineering, and cannot form a verification closed loop, this paper proposes theory and methods of the connection between framework design and simulation data. The relationship between framework design and simulation data is guided under the capability-based design, jointly supports the process from capability requirement research to equipment combat and technical index research. The data connection effect is to verify the framework design, and intuitively show the data transition and interaction process between task elements. This paper proposes two data connection methods and introduces their applicable scenarios, and takes framework design and simulation of rescuing equipment on land battlefield as example to illustrate how to implement the data connection. At last, the paper foresees the standardization process of data interfaces, and emphasizes the significance of feedback loop in engineering.

Key words: framework design; simulation; rescuing equipment; system-of-systems

0 引言

国防建设和重大科研生产建设任务需要多系统协同运作, 表现出复杂性和涌现性等体系特征^[1]。体系架构建模是体系工程建设的重要方法。近年来, 国内外重视体系架构建模牵引下的工程建设, 为此提出一系列体系设计方法论和设计工具。从 DODAF (Department of Defense Architecture Framework, 美国国防部架构框架) 到 UAF (Unified Architecture Framework, 统一架构框架), 业界逐步构建了一套完整的体系设计架构^[2]。体系设计架构包含了从高级概念到能力、业务、系统、数据等一系列视图, 从而形成了一套完整复杂

的设计流程。这种复杂性反映了体系本身的特点, 有利于人们从各个侧面充分描述体系的复杂交互、信息传递和能力涌现, 一段时期内吸引了大量的研究和实践投入, 促进了体系设计思想的落地。同时, 体系设计元模型的引入, 使得视图数据化, 使其可以以 XML 或其他格式导出。

体系设计本身产生的视图颗粒度通常停留在系统级, 强调系统之间的联系, 系统内部功能和运行实际成效并不是体系设计关心的重点, 而是由后续的系统研发试验或者系统仿真来实现。从这个角度来看, 体系设计本身还不能产生生产力, 必须将体系设计与系

统仿真等结合起来,才能体现体系设计的功效。

作为工程建设的重要环节,利用计算机仿真技术开展复杂系统和体系仿真的研究越来越受到重视。通过对真实环境中的过程、实体、环境因素的计算机模拟,仿真技术可以快速验证系统 in 应用场景下的效能。长期以来,人在回路仿真需要操作人员通过人机交互建立想定,并在作战单元或装备静态性能参数的基础上,建立复杂的行为模型。想定和模型建立之后可以以内部数据形式存储下来,便于重复利用。仿真想定建立在地理信息系统和作战单元标绘基础上,形态直观,但相比体系设计视图,在对作战流程、系统间信息流等的描述方面不全面不规范。人机交互输入方式取决于仿真系统具体实现,缺乏抽象。因此,对于复杂的体系仿真,应当以体系设计为牵引,将体系设计结果输入给仿真系统,将仿真评估结果反馈到体系设计,形成完整闭环。

2007 年,国际系统工程协会提出基于模型的系统工程(Model-Based Systems Engineering, MBSE)概念,将系统工程从原有的以文档为中心转变为以模型为中心,对于复杂交互下的系统设计是一个飞跃。体系设计与仿真是其中的重要组成^[3]。在工程级仿真领域,IBM 的 Harmony(集成的系统/嵌入式软件开发流程)系统工程方法得到了广泛应用,它依托 SysML 模型定义,使用 Rhapsody 设计工具,可以与 STK 仿真对接。这套系统工程方法对于体系设计与系统仿真的接口有比较清晰的定义。Harmony 系统工程方法对于体系设计和仿真系统的贯通有重要的参考作用,但也存在明显区别:Rhapsody 设计工具与 STK 仿真工具都出自 IBM,可以保持互联互通的设计一致性;而军事仿真系统是独立建设的,长期以来也不考虑和体系设计的联通,仿真参数大多是依靠自身系统输入,和体系设计系统的联通意味着传统军事仿真系统设计思路的转变。

1 体系设计与仿真的关系

美军在“9·11”后,由于面临恐怖分子袭击等不确定性威胁,由基于固定作战对象威胁的设计转为基于能力的设计,以提升装备的全方位作战能力,适应未来大范围挑战。基于能力的装备论证设计思路链条包括作战能力需求研究、体系作战概念研究、装备能力需求研究、装备战技指标研究和装备物理实现^[4]。体系设计覆盖了从作战能力需求研究到体系作战概念研究阶段。仿真则对于装备能力需求研究到装备战技指标研究有着重要意义。

DODAF/UAF 体系设计遵循了基于能力的设计理念,在文字形式描述了任务需求后,从能力视角或战略视角进行设计,其核心视图都是能力视图,将作战任务分解为阶段性作战能力。完成一套体系设计需要在一套既定框架、顺序逻辑下完成,几十个视图要彼此关联,较早出现的 DODAF 在视图序号顺序和实际设计顺序上存在不一致的情况,业务人员需要一定时间的培训才能熟练掌握。UAF 在这方面更为规范,基本上按照视图顺序来做设计就可以了^[5]。图 1 是体系设计中使用 DODAF 和 UAF 的典型流程。

实际作战行动在事件的驱动下,会产生连续的复杂的行为模式,通常还伴有概率性结果。因此,依靠体系设计进行武器装备体系结构静态和多视角的系统行为描述,并不能真正验证武器装备体系是否实现了预期功能,还是要通过仿真系统来验证。军事仿真模型按照仿真颗粒度可分为任务级、战役级、交战级和工程级四个层级。任务级仿真常用于作战计划制定等任务级别的决策,战役级仿真通常到作战单元颗粒度,交战级仿真通常到单装颗粒度^[6],工程级仿真则要涉及装备内部的运行原理。

图 2 表示的是体系设计与仿真和评估的关系。体系设计从能力设计开始,接下来进入到业务设计,又叫做作战设计。作战设计中的高级作战概念图(Op-Tx),连同作战流程图(Op-Pr)和作战状态图(Op-St)一起,对应着战役级仿真。通过作战视图和仿真的互动,一方面对作战概念设计进行验证,另一方面将逻辑视图结合地理信息系统进行具象化的推演仿真,有利于在战役层面上反映各要素在战争中的作用。资源视图,包括资源流程图(Rs-Pr)、资源状态图(Rs-St)和资源时序图(Rs-Sq),完整描述了装备层面的设计,对应交战级仿真。

图 2 将评估也包括进来,是因为在完整的反馈环路中评估占有重要位置。基于能力的设计与基于能力的评估是对应的,能力视图可以将能力分类数据直接输入到评估系统作为顶层能力。底层能力评估指标通过收集仿真运行数据计算,并通过评估算法逐步汇集计算出顶层能力评估指标。

2 体系设计与仿真数据贯通方法

在 DODAF/UAF 体系中,高级作战概念视图可以说是设计的业务出发点。它用图形化的方式表达任务的基本元素^[7]。在早期体系设计工具中,作战概念视图是一张静止的图片,随着体系设计的技术进步,作战概念视图包含了概念模型层面的数据。概念模型最

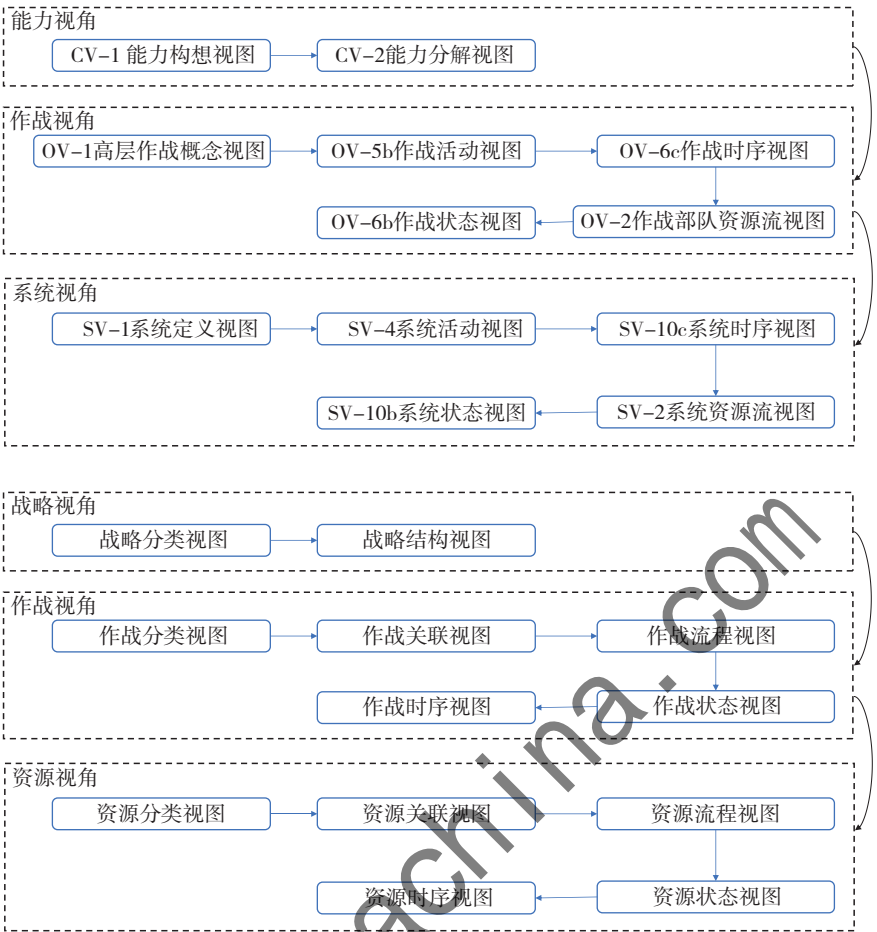


图 1 DODAF(上) 和 UAF(下) 典型设计流程

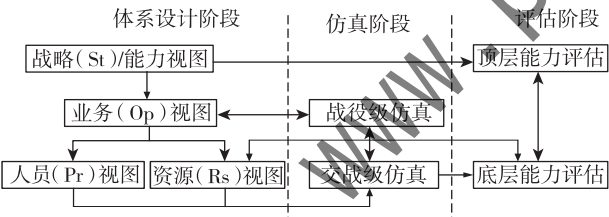


图 2 体系设计与仿真、评估的对应关系

早是在信息系统工程和软件工程领域提出来的，用于需求分析阶段，对信息系统进行抽象，作为和用户进行沟通的框架。美国国防部从 1995 年开始研究概念模型，将其定义为与任务相关的实体、动作、关系、交互和环境的数字化描述^[8]。体系设计和仿真数据贯通，通常是从概念模型或者作战概念视图开始的。

体系设计与仿真数据贯通根据驱动方式的不同，可以分为体系设计驱动和仿真驱动，如图 3 所示。

体系设计驱动是指体系设计系统主动进行动态作战概念视图展示，同时发出状态变化事件，仿真引擎接收事件后进行模型解算，开展概念仿真。体系设计驱动由于只需要一组同步接口，容易做到两个系统同

步，开发工作量小。但存在的问题是：仿真系统不是自主驱动的，脱离了传统仿真系统形态，同时这种单向同步对于验证体系设计是否合理意义不大，更多起到概念展示的作用。

仿真驱动的方式是指仿真系统发出事件，体系设计系统接收后进行处理，并驱动概念视图切换状态。为了让仿真状态机和体系设计保持一致，需要预先将体系设计的各装备作战状态图数据导出给仿真系统，仿真系统形成自身的状态机。仿真驱动方式符合仿真系统自主运行模式，并且可以验证体系设计的状态图，以及由各装备状态组合成的作战流程。但缺点是同步复杂，概念展示的工作量大，体系设计每次改变都要导出新的状态机数据给仿真系统，如果改动涉及兵力的增减可能需要手工调整仿真系统。

3 搜救装备体系设计与仿真贯通验证

在 UAF 标准中，以民用海上搜索和救援为示例进行体系设计^[9]。本文则以陆上战场搜索救援为例来展示搜救装备的体系设计与仿真贯通验证过程。

首先设计的是能力视角：搜索和救援行动可按行

动阶段分为报警自救、指挥控制、搜索探测、救援后送和医疗救治五大类能力。不同的装备会覆盖其中一种或多种能力。比如卫生运输船既有救援后送能力，又有医疗救治能力；搜救直升机则主要覆盖搜索探测能力和救援后送能力，也可能具备简单的指挥控制能力和医疗救治能力。

接下来是作战（业务）视角。作战视角以作战单元为出发点，例如，在搜救行动中的作战单元包括联合指挥中心、机动搜救分队、区域救治分队和待救人员几个作战单元。作战视角设计这些作战单元的活动流程和序列。

资源（系统）视角是和仿真联系最紧密的视角。以救援直升机为例，救援直升机经过一系列状态变化，完成从出发到救援、返回的全过程，如图4所示。

将救援直升机的视图数据导出成 XML 或 JSON 文件，仿真系统读入后自动形成装备状态机。所有参与救援行动的装备状态机综合起来，形成体系设计中完整的资源序列视图。当仿真系统运转时，依据装备状态机变化发出相应事件给体系设计系统，体系设计系统就可以开始动态展示资源时序或者作战时序。鉴于整个过程比较复杂，图5只展示了在救援指挥和搜索阶段体系设计和仿真数据的交互。

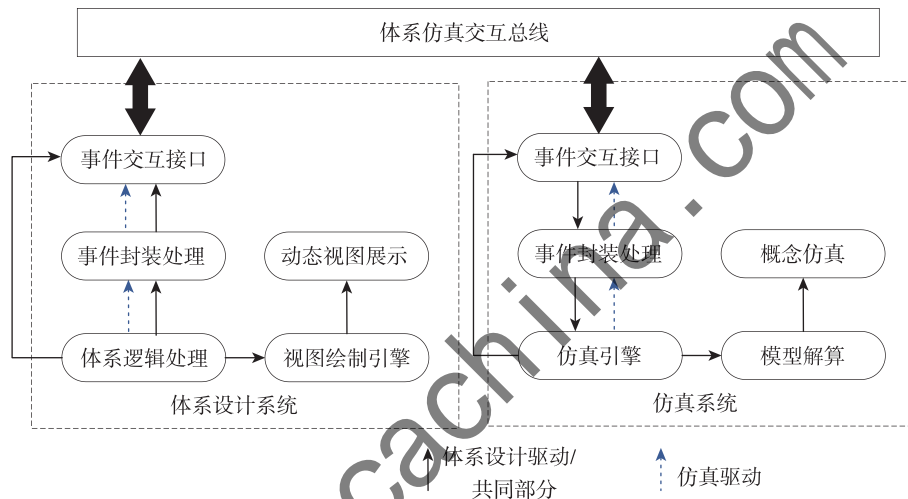


图3 体系设计与仿真数据贯通方式

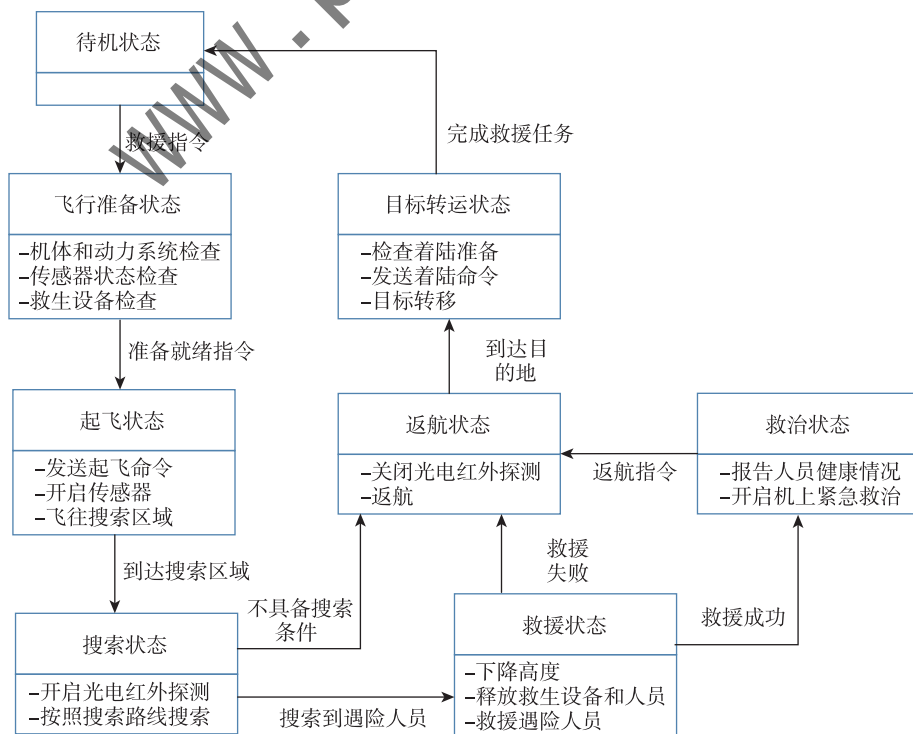


图4 搜救装备资源状态图

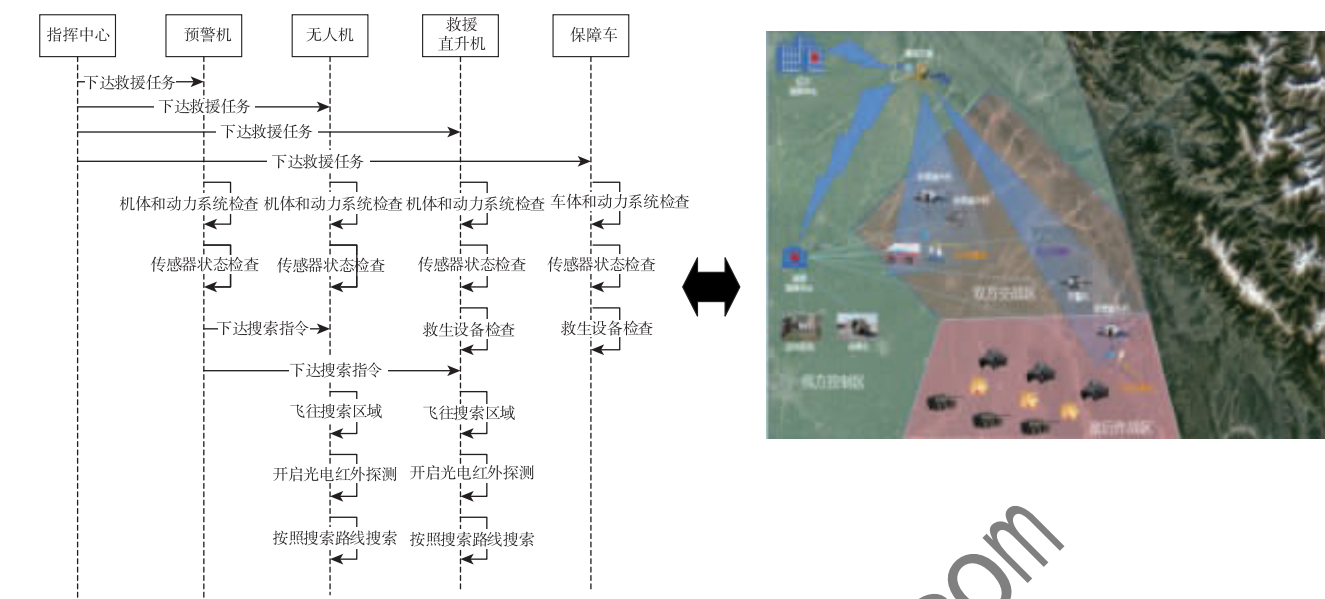


图5 体系设计和仿真数据实时交互

图5左侧是体系设计中的资源时序图,右侧是仿真系统界面。当仿真系统运行到某个事件发生,如指挥中心向救援直升机下达救援任务,仿真系统将事件实时传给体系设计系统。资源序列图就动态画出从指挥中心到救援直升机的时序。两个系统的状态机达到同步,从而验证体系设计的准确性。

4 结论

本文重点讨论了体系设计和仿真数据贯通的必要性、技术实现和应用案例。展望未来,接口标准化是数据贯通通用化的体现。相比于体系设计系统从诞生之日起就依据一定的标准规范并逐步建立起基于结构化文件的数据模型,仿真系统的数据标准化进展较为缓慢。仿真互操作标准组织制定了MSDL(Military Scenario Definition Language),一种为支持军事想定开发而设计的基于XML的语言。MSDL使想定描述标准化,方便将外部的想定数据导入到仿真系统中,符合仿真输入标准化趋势^[10]。军事想定主要包括计划、任务、兵力、环境等要素,重点描述初始态势和行动计划。而体系设计不仅包含想定,还深入到系统和装备的信息关系中,并建立了到达装备颗粒度的状态图和时序图。因此体系设计与仿真数据接口的标准化工作要比想定标准化更复杂。

随着体系设计在体系工程中的引领作用日益突出,需要建立数据接口互联互通标准让体系设计与仿真数据进一步贯通,从而推进从体系设计到仿真评估这一流程的反馈闭环,加速装备研制迭代改进过程。

参考文献

[1] 罗爱民,刘俊先,曹江,等.网络信息体系概念与制胜机理

研究[J].指挥与控制学报,2016,2(4):272-276.
[2] 李德林,张雨晨,王俊,等.基于统一架构框架(UAF)的体系协同作战架构建模研究[J].指挥控制与仿真,2024,46(4):8-20.
[3] 顾智超,陶贞吉,冯南昊,等.基于模型的系统工程发展现状及实践维度[J].空天防御,2024,7(5):28-35.
[4] 李巧丽,郭齐胜.基于能力的装备需求论证框架[J].军事运筹与系统工程,2009,23(2):35-39.
[5] 刘婧婷,郭继坤.基于UAF元模型的战区联合作战精确保障体系构建方法[J].系统工程与电子技术,2020,42(6):1324-1331.
[6] 王珣,高亮,魏永勇,等.基于任务级-交战级体系仿真平台的并行实验研究[J].兵工学报,2022,43(S1):183-188.
[7] 董晓明,韩研,王质松,等.基于MBSE的装备作战概念模型设计[J].中国舰船研究,2022,17(5):314-322.
[8] 刘斌,杜晓明,高鲁.装备保障仿真概念模型理论与方法[M].北京:国防工业出版社,2020.
[9] Object Management Group. Unified Architecture Framework(UAF) sample problem[EB/OL].(2017-xx-xx).http://www.omg.org/spec/spec/UAF/20170516/Class-Library-UAF.xmi.
[10] 黄智,邱晓刚.军事想定定义语言MSDL技术研究[J].计算机仿真,2008,25(8):9-13.
(收稿日期:2025-10-21)

作者简介:

卢峰(1972-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:数据治理、计算机仿真等。
张天维(1994-),男,硕士,工程师,主要研究方向:信息安全、计算机仿真等。
刘根旺(1994-),男,硕士,工程师,主要研究方向:信息安全、计算机软件等。

版权声明

凡《网络安全与数据治理》录用的文章，如作者没有关于汇编权、翻译权、印刷权及电子版的复制权、信息网络传播权与发行权等版权的特殊声明，即视作该文章署名作者同意将该文章的汇编权、翻译权、印刷权及电子版的复制权、信息网络传播权与发行权授予本刊，本刊有权授权本刊合作数据库、合作媒体等合作伙伴使用。同时，本刊支付的稿酬已包含上述使用的费用，特此声明。

《网络安全与数据治理》编辑部

www.pcachina.com