

# 复杂产品协同仿真与设计技术的研究

夏明长, 江雨燕, 李 洁

(安徽工业大学 管理科学与工程学院, 安徽 马鞍山 243002)

**摘 要:** 协同仿真技术可以为复杂产品的研发、设计、创新、评估、管理提供全面支持。文中在分析复杂产品协同仿真的特征、功能及建模过程的基础上, 提出基于HLA/WE-RTI的复杂产品协同仿真平台及其体系结构, 探讨了基于仿真产品的一体化建模、仿真评估、仿真模型库、协同创新、协同仿真信息等关键技术及实施方法。结合工程实际应用, 重视对复杂产品协同仿真关键技术的研究, 进一步集成、优化、完善协同仿真平台功能, 形成应用技术开发与完善应用的良性持续发展。

**关键词:** 复杂产品; 协同仿真; 仿真设计

**中图分类号:** TP391.41

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2009)03-0070-04

## Research on Complex Product Cooperative Simulation and Design Technology

XIA Ming-chang, JIANG Yu-yan, LI Jie

(School of Management Science and Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan 243002, China)

**Abstract:** The co-simulation technology for complex product development, design, innovation, assessment, management provided full support, based on the analysis of complex products co-simulation features, functions and modeling on the basis of the process, based on the HLA/WE-RTI co-simulation of complex product platform and its architecture, based on a simulation of product integration modeling, simulation assessment, the simulation model, collaborative innovation, co-simulation information, and other key technologies and methods. Works with practical applications, the emphasis on complex product key co-simulation technology and further integration, optimization, and improve co-simulation platform, a technology development and application of sound application of healthy development.

**Key words:** complex products; co-simulation; simulation design

### 0 引 言

二十一世纪制造业面临的新形势是: 消费观念出现了结构性变化, 消费需求趋向多样化和个性化; 经济全球化给制造商利用全球资源, 积极参与全球竞争与合作带来了前所未有的机遇; WTO 贸易规则正被世界普遍接受, 国际标准化已成为 WTO 成员之间国际技术交流与贸易的基本准则; 企业行销理念已经将产品的“生产、销售”转变为“市场营销”, 关注的重点由以产品为中心, 转变为以客户为中心。企业产品研发信息化的设计技术在趋同, 仿真技术则在求异; 仿真技术已经完成从单场、线性、静力、单进程求解到多场、非线性、动力学、多进程求解的进化, 开始进入多场耦合、多学科优化以及以集群为代表的高性能计算时代; 整合与分化的并存, 大型通用技术在不断整合, 新型的专业

化技术却在不断分化; 具有集成化、网络化特征的协同技术大量出现, 基于网络化与集成化的协同技术也应声而起, 致力于对被细分的技术和业务进行协同与整合。知识工程技术出现在几乎所有相对成熟的研发信息化产品中。协同制造、生物制造、绿色制造、远程制造、全球制造和下一代制造生产模式的呼声越来越高<sup>[1]</sup>。复杂产品协同仿真与设计(Complex Product Cooperative Simulation and Design, CPCSD)”的研究正是为适应这种竞争背景, 并在相关新技术推动下产生。

复杂产品是指客户需要复杂、产品构成复杂、技术原理复杂、制造过程复杂、项目管理复杂、影响因素复杂的一类产品<sup>[2]</sup>, 如航天器、飞机、汽车、铁路机车车辆、复杂机电产品、武器系统等。复杂产品往往涉及多个学科领域, 由机械、控制、电子、液压、气动、软件等不同学科领域分系统组成, 而每个子系统又由多个成千上万个零件构成。它是一类规模大、复杂程度高的复合仿真系统, 通常包含若干仿真系统, 每个分系统完成各自的仿真职能, 共同组成大系统以实现最终仿真目标。开发 CPCSD 是一项系统工程, 包含复杂的工作过程, 要依靠一个相对庞大的仿真开发团队来完成。整

收稿日期: 2008-06-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60473142)

作者简介: 夏明长(1971-), 男, 讲师, 硕士研究生, 研究方向为数据库、数据挖掘等; 江雨燕, 副教授, 研究方向为 MIS、CSCW、协同仿真技术。

个开发过程涉及复杂需求分析、设计、开发、测试等任务,开发人员之间需协同工作,软件开发环境需高度集成。计算机支持的协同工作是一个利用多媒体和网络技术建立的一个协同工作的软件环境,在此环境中人们可以相互合作、共同工作于一个产品、一个研究领域或一个项目<sup>[3]</sup>,它包括群体工作方式和支撑群体工作的相关技术研究、应用系统的开发等。通过建立一个支撑 CPCSS 开发的 CSCW 环境,可以消除开发人员在时间和空间上的障碍,节省时间和精力,提高团队工作质量和效率,实现资源共享和协同工作,并可以辅助制定开发计划及自动分配任务,积累开发与管理中的经验以形成专家数据库、辅助决策等<sup>[4]</sup>。

## 1 复杂产品协同仿真的特征及功能

仿真是以系统理论、形式化理论、随机过程理论、统计理论以及优化理论为基础,借助计算机对实际系统行为进行动态实验研究的方法。对于包含多种随机因素的复杂系统,通常难于用数学模型或解析方法精确地描述和求解时,可以根据系统内部的逻辑关系和数学关系,面向系统的实际过程和行为来构造仿真模型,在很少假设或不作假设的前提下建立包括系统主要因素和具体细节的模型框架,并通过仿真实验运行,得到复杂系统的解。它可以将研制过程、运行过程和实施过程放在实验室中进行,具有良好的可控制性、无破坏性、可复现性和经济性等特点;在理论上体现了实验思考的方法论,用它可以探索高技术领域和复杂系统深层次的运动机理和规律性,给出人们直观逻辑推理不能预见的系统动态特征,具有科学的先验性;仿真模型与所研究系统的运行过程在形式上和逻辑上存在对应性,避免了建立抽象数学模型的困难,简化了建模过程,具有很好的直观性。复杂产品的协同仿真为系统开发人员、模型或数据资源、建模与仿真工具之间的协同活动提供支持,具备以下特征和功能:

(1) 强调多学科领域协作,基于开放式环境,具备良好的可扩展性用二次开发功能,采用多种技术手段结合,需要不同人员、不同工具的协同工作;提供先进的、支持多领域的协同建模、仿真、交互工作环境和可视化显示环境。

(2) 提供一个管理集成支撑平台,支持团队、过程、项目的管理与优化<sup>[5]</sup>;仿真分析之间存在着信息协同关系(数据需求与信息共享),对仿真工具软件具有良好的集成机制,可有效实现仿真数据/信息的组织、管

理交换与共享。

(3) 仿真手段或类别多,既有单领域仿真,又有多个领域协同仿真,仿真模型以物理模型为主,也有少量用于性能仿真的数学模型,协同仿真之间需要实现部分模型的共享、重用与操作。

(4) 多数仿真分析属于异步协同仿真,仿真过程之间的耦合度较低,对协同仿真的实时性要求不高,对重点仿真活动进行定义,并指示使用者各仿真类型间的关系与传递参数。

(5) 提供项目进展、任务的分解下达、协同仿真运行管理、冲突协调、仿真结果反馈等机制。仿真的实际用途主要体现在事前分析认证和事后分析改善,最终目的是要辅助决策,降低成本,提高效益。

## 2 复杂产品协同仿真的建模过程

复杂产品协同仿真的开发项目有不同的仿真需求,具体开发过程不尽相同,但综合地看,各种产品协同仿真的开发都拥有共性的整体流程,通过研究大量不同类型的实际开发项目,提出一个一般性的复杂产品协同仿真的建模过程。整个过程伴有验证、认证和确认(VV&A)活动,如图1所示。仿真模型的 Verification: 验证确定仿真模型本身是否存在语法和逻辑错误; Validation: 认证,确定仿真模型是否精确代表理论模型; Accreditation: 确认,确定仿真模型是否真实反映实际系统,能否被实际需要和特定目的所接受。

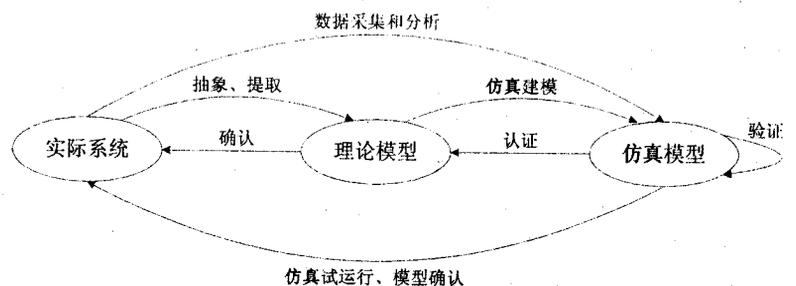


图1 仿真模型的 VV&A

(1) 问题阐述阶段:提出仿真目标,确定仿真规模和范围,并进行可行性论证,最终生成问题定义报告和可行性认证报告,初步建立仿真开发团队和仿真计划。

(2) 需求分析阶段:由所需要仿真领域的专家来鉴别需要,确定系统功能、实现途径、关键技术等一系列非形式化的仿真要素,要求结果具有完整性、准确性、清晰性、可追溯性等,最终生成相应的报告文档,并进一步确定仿真开发团队。

(3) 系统设计阶段:定义仿真模型的内部数据,如资源、变量、表达式、数组、仿真参数、统计变量等等。定义模型的仿真流程,与实际系统流程相对应,通过模

型验证。确定仿真系统的结构、各组成成分系统的功能、系统的控制流和信息流模型、系统的性能指标、设计仿真模型、确定仿真系统验收的标准等。

(4)系统实现阶段:将仿真系统的各项设计加以实现,开发出符合需求的仿真软件和硬件,实现最初设计,编制和生成仿真程序,通过模型校核。在进行开发的同时,建立相应的开发及说明文档。

(5)系统测试与集成阶段:以各种必要手段和工具测试系统的软硬件实现是否满足系统需求,将开发完成的仿真系统进行逐项验证,以确定仿真系统是否实现了用户需求,是否可以稳定地、正常地工作,是否可以实现最初的仿真目标。

(6)应用与维护阶段:建立系统完整的模型设计档案、软件档案、用户使用说明和常见问题处理等文档资料,对系统的配置、系统功能的扩充和增强提供必要的技术支持。

### 3 复杂产品的协同仿真设计技术

HLA<sup>[6]</sup>(High Level Architecture)是美国国防建模与仿真办公室(DMSO)为克服已有协同仿真技术的局限与不足,而提出建模和仿真的高层体系结构,以便于不同类型仿真系统间的互操作及其部件的重用。这种模式通过提供统一的接口标准,来实现不同仿真应用之间的信息交互,以仿真运行过程中实时的信息交互为出发点,突出了对现有仿真资源的继承和重用,现有的仿真软件只需要对自身的信息交互接口进行改造和封装,无需对内部具体算法和实现机制进行改动,是目前产品制造领域协同仿真的主要研究方向。HLA期望通过提供一个具有开放性、灵活性和适应性的体系结构,采用标准的方法解决联邦模式仿真中存在的固有问题,支持对应用系统的即插即用;支持对未来新技术的充分兼容与应用;支持对不同仿真应用的重用,实现联邦的快速组合与重新配置;支持用户分布、协同地开发复杂仿真应用系统,并最终降低开发新应用系统的成本和时间。基于HLA的软总线协同仿真模式在开放性、灵活性、通用性上都具有很大的优势,已经成为多领域协同仿真技术发展的主要趋势之一。

于协同仿真的产品设计在现在有SBD(Simulation Based Design)技术的基础上,已将协同仿真技术系统地引入到产品设计领域,通过多领域一体化建模和协同仿真,实现从系统的角度对产品设计方案进行分析和评估。基于协同仿真的产品设计,本质上是一个多领域协同、并行开发的过程。

基于协同仿真的产品设计,是协同仿真技术在产品设计领域的具体应用。虽然HLA规范已经对协同

仿真的许多基本理论,诸如时间管理、对象管理、声明管理等,提出了有效的解决方案。但由于HLA起源于军事仿真,许多已有的研究成果和应用经验还很难直接应用到民用制造领域。因此,要想将协同仿真技术广泛地应用到民用制造领域,除了借鉴其他领域的研究成果和经验之外,还需要结合产品设计活动自身的特点,研究基于协同仿真产品设计的关键技术:

(1)一体化建模技术。一体化建模是建立多领域协同仿真系统的基础,通常由多个学科、多个领域的设计小组协同完成,其中各领域的应用背景、工作条件、参与角色各不相同,设计目标、协同方式以及工作流程也不尽一致。一体化建模技术必须能够支持异地、异构情况下的建模活动,支持多种模型的装入和卸出,支持模型的灵活配置,以及剪裁、重组、重用等操作。传统的建模技术主要集中在单领域建模方面,在多领域协同建模方面有所欠缺。针对以上需求和特点,提出一种有效的一体化建模方法,对于协同仿真技术在复杂产品设计过程的进一步应用具有重要意义。

(2)协同仿真系统的测试评估集成技术。协同仿真的测试评估是仿真的重要组成部分,由于多领域协同仿真侧重于从全局角度对设计方案进行仿真分析评估,通常会涉及到大量的仿真数据、实验数据、测试数据分析与处理,直接关系到协同仿真的应用效果,因此,需要借助于数据理论和仿真工具。协同仿真的测试评估工作需团队成员之间协调、配合,并与协同仿真系统整个生命周期中的各项工作密切联系,有效地嵌入到协同仿真系统整个开发 workflow 之中。系统测试评估人员要与系统管理人员、设计人员、开发人员和用户紧密协作,共享系统的各种资源,频繁地交换信息。为了提高分布交互仿真系统的开发的效率,计算机支持协同工作环境技术的发展,为协同仿真系统的测试评估集成技术提供了有力的工具。通过建立计算机支持协同工作环境,改善信息交流方式,消除或减少人们在时间和空间上分隔的障碍,从而节省工作的时间和精力,提高团队工作质量和效率<sup>[7]</sup>。此外,专家系统和决策支持系统的相关理论,也可以为基于协同仿真系统的测试与评估提供支持。

(3)协同仿真模型库管理技术。协同仿真模型库是整个协同仿真平台的支撑系统,它对协同仿真建模提供了快速、准确的获取模型的方式,支持位于不同计算机上的多领域的协同仿真,为复杂产品的设计开发提供了强有力的手段和工具。建立模型库管理系统,把分散的模型统一管理,合理有效地将仿真模型及其文档组织成相应功能的模型库,不仅可以充分利用现有的模型,为协同建模、协同仿真提供信息支持,提高

仿真效率,且可提高模型的共享和重用,为仿真模型的再开发提供了支持。通过参加实际的项目开发,模型库管理系统的可行性和有效性不断地得到验证。

(4)基于知识的驱动协同创新管理技术。协同创新是一种优化产品开发过程的集成、以人为中心的设计方法与创新技术相结合的产品开发模式。协同创新不仅体现个人的创新能力,更重要的发挥集体的智慧。协同创新的结果可以是设计对象的概念、方案或实体模型,其目标是从产品的功能出发,改进、完善现在产品或创新发明新产品,以实现预期的功能,提高产品的创新度,加速产品的开发过程。产品创新设计有机地集成到协同开发过程中来,对于提高产品创新度和质量具有重要意义。产品创新开发的知识驱动自动化,是产品开发领域新方向的有益探索。

(5)协同仿真集成一体化信息管理技术。多领域协同仿真过程中涉及到大量的人员、工具、数据、模型、项目、流程,对这些元素进行合理的组织和管理,使其构成一个高效的系统,实现整个开发过程中的信息集成和过程集成,是优质、成功地进行整个开发过程的效率。协同仿真的基础是仿真信息在各领域中动态形成、传递及共享,并贯穿于整个仿真过程,因此,如何在各子系统之间科学有效地组织、管理、正确地传递及共享这些信息就成为支持协同仿真的关键技术和难点之一。从工程角度,协同仿真集成一体化信息管理技术可基于已有项目管理技术及产品数据管理系统(PDM)技术,结合自身的需求和特点进行完善的扩充。通过应用PDM,可提高管理的规范化程度和管理水平,系统的实施不仅简化了业务流程,规范业务工作,提高了信息的规划程度和管理的规划程度,任何操作都将留迹。同时通过信息集成与共享,提高了信息的流转速度,可实时记录工作状态,使管理由粗放管理变为精细化管理,由定性管理变为定量管理。设计单位管理与决策人员能及时掌握足够的信息,提高决策水平和对市场变化的响应速度。

(6)协同仿真平台技术。为了支持基于协同仿真的产品设计过程的顺利进行,解决多学科协同建模的问题,需要为其提供一个底层的支撑平台。协同仿真平台从全局的角度出发,规划和协调协同仿真过程中各部分之间的关系,使其构成一个有机的整体,实现整个开发过程的信息集成和资源共享。在平台的支持

下,不仅可以实现整个建模过程的规范化和通用化,还提供对现有信息资源的重用机制,实现从体统的单学科仿真过渡到基于HLA/RTI的多学科协同仿真。图2显示了基于HLA/WE-RTI的复杂产品协同仿真平台的体系结构。

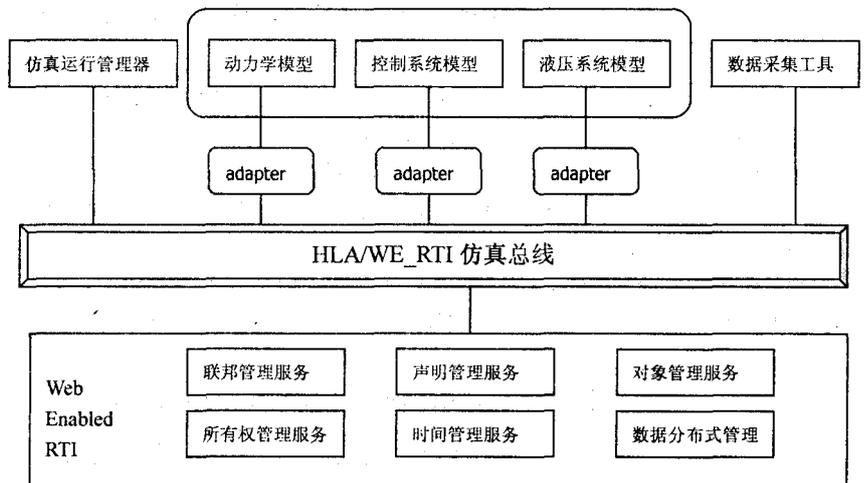


图2 基于HLA/WE-RTI的复杂产品协同仿真平台体系结构

#### 4 结束语

针对复杂产品协同仿真的特征、功能及建模过程,提出了基于HLA/WE-RTI的复杂产品协同仿真平台及其体系结构,探讨了基于仿真产品的一体化建模、仿真评估、仿真模型库、协同创新、协同仿真信息等关键技术及实施方法。结合工程实际应用,应重视对复杂产品协同仿真关键技术的研究,进一步集成、优化、完善协同仿真平台功能,进而形成应用-技术开发与完善-应用的良性持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 李伯虎,柴旭东.复杂产品协同制造支撑环境技术的研究[J].计算机集成制造系统-CIMS,2003,9(8):691-693.
- [2] 范文慧,肖田元.复杂产品协同设计-仿真-优化-一体化平台[J].科技导报,2007,25(4):16-24.
- [3] 方可,杨明.大型复杂仿真系统开发的协同工作环境研究[J].计算机仿真,2004,21(8):194-197.
- [4] 张冰,杨明,王子才.CSCW环境在大型复杂仿真系统开发中的应用[J].哈尔滨工业大学学报,2002,34(4):473-477.
- [5] 孙鹏文,左正兴.复杂产品协同仿真技术研究[J].设计与研究,2005(4):18-20.
- [6] 王克明,熊光祿.复杂产品的协同设计与仿真[J].计算机集成制造系统-CIMS,2003,9(12):15-19.
- [7] 张冰,杨明.复杂仿真系统测试评估集成技术研究[J].计算机集成制造系统-CIMS,2002,8(3):197-201.