

武器系统虚拟样机技术研究*

赵雯 王维平 朱一凡

(国防科技大学系统工程与数学系 长沙 410073)

胡晓峰

(国防大学 北京 100000)

摘要 虚拟样机技术是一种新型的基于集成化产品和过程开发策略的新的产品设计、开发和评估手段。本文介绍了武器系统虚拟样机的概念及其与武器装备论证的关系,在此基础上,深入探讨了虚拟样机环境的主要研究内容和所涉及的若干关键技术,最后对虚拟样机技术的发展前景进行了展望。

关键词 虚拟样机, 仿真, 模型集成, 协同工作

分类号 TP391. 9

Towards Technology of Virtual Prototyping in Weapon Systems

Zhao Wen Wang Weiping Zhu Yifan

(Department of Systems Engineering and Mathematics, NU DT, Changsha, 410073)

Hu Xiaofeng

(National Defense University, Beijing, 100000)

Abstract Virtual prototyping is a new kind of technology in products design, development, and assessment, which is based on Integrated Products and Process Development. In this paper, the concept of virtual prototyping in weapon system is introduced, and the relationship between virtual prototyping and weapon equipment evaluation. Emphases are put on the main research contents and several critical techniques used in virtual prototyping environment. Finally, the perspective of virtual prototyping is given.

Key words virtual prototyping, simulation, model integration, cooperation

1 虚拟样机与武器装备论证

虚拟样机 (Virtual Prototyping, 简称VP) 是一种新型的基于集成化产品和过程开发 (Integrated Products and Process Development, 简称IPPD) 策略的新的产品设计、开发和评估手段。它将计算机仿真方法论、现代管理理论、系统工程方法、模型技术和计算机支持工具有机地结合起来,为产品的全寿命周期设计和评估提供分布式的集成化环境,从而达到缩短研发周期、降低成本、提高效率的目的。特别是近年来,随着仿真技术和计算机技术的迅猛发展和相互渗透,这些领域涌现出来的新概念、新方法、新技术不断推动着虚拟样机技术的进步和发展,如分布交互仿真技术、计算机可视化技术、多媒体仿真技术、WWW技术以及计算机支持的协同工作技术等。现代国防工业部门对新型号武器系统的研制过程、研制方法和效能评估手段等都提出了更高的要求,缩短新产品研制开发周期、降低开发费用、提高效费比已成为军工企业立足于市场竞争的先决条件。技术的推动和需求的牵引使得虚拟样机技术得以迅速发展。

武器装备论证是一个包括定性和定量分析的复杂的过程。针对不同的效能测度标准和作战效能指标,效能评估的方法和手段也不同。传统的评估方法一般是在武器系统研制生产出来以后,通过对武器系统进行仿真试验得到数据,然后根据一些表示武器系统在特定条件下完成规定任务的尺度和标准

* 重大试验技术研究项目资助

1998年10月5日收稿

第一作者: 赵雯, 1973年生, 博士生

进行定量计算和定性分析，最终得到该武器系统的效能评估结果（如毁伤目标火力、机动性能、防护能力、费用损耗等）。如果新武器系统效能指标达不到规定要求，就要对产品进行重新设计，由于武器系统设计、生产、试验和采办过程是完全分离的，使得在新产品改进设计时很难确定影响效能的主要因素，由此可以看出传统方法在提高武器系统作战效能方面存在着很大的缺陷。实际上，武器系统研制过程中的设计方法和设计参数、生产工艺、经费限制等所带来的问题在很大程度上影响着武器系统作战效能的提高。虚拟样机技术则将武器系统总体设计单位和子系统设计单位以及采办和生产部门通过一个集成化的虚拟样机环境紧密结合起来，从而对新型号武器系统的研制和效能评估提供全面的支持。首先利用模型集成和协同工作工具建立新武器系统虚拟样机模型，然后在虚拟模型上进行仿真试验和效能评估。在得到效能评估结果之后，总体设计部门通过与采办部门交换意见，直接将改进信息反馈到各个相关子系统设计单位进行设计上的改进。经过若干次的评估和改进循环，确定样机模型达到设计要求后，再将模型投入生产。在整个过程中，采办方、研制方、生产方通过虚拟样机环境紧密地联系在一起，直到达到效能指标要求的武器系统投入生产。这既提高了武器系统的作战效能，又缩短了新型号武器系统的研制时间、减少了研制经费和设计风险。虚拟样机技术的使用，为新型号武器系统研制和提高武器系统作战效能带来了一种新的解决思路 and 手段。

2 虚拟样机技术研究概况、水平和发展趋势

虚拟样机技术将建模和仿真扩展到新产品研制开发的全过程。它以计算机支持的协同工作（CSCW）为底层技术基础，通过支持协同工作、CAD、CAM、建模仿真、效能分析、计算可视化、虚拟现实的计算机工具，将各个集成化产品小组（IPT）的设计、分析人员联系在一起，共同完成新产品的概念探讨、运作分析、初步设计、详细设计、可制造性分析、效能评估、生产计划和生产管理等工作。国外应用情况表明，虚拟样机技术可以降低 25% 的产品研制费用，并可缩短产品研制周期。

VP 大体上可以划分为两个层次上的技术：一是直接与设计小组（IPTs）用户交互并为其提供各项服务功能的顶层服务技术；二是隐匿在顶层服务界面之后、用于支撑各项服务功能和交互功能的底层支持技术，如图 1 所示。VP 的顶层服务技术主要包括集成、交互、应用和数据生成技术。VP 的底层支持技术包括产品和过程数据库、对象管理和信息共享、计算与网络技术。

3 武器系统虚拟样机环境主要研究内容

3.1 武器系统虚拟样机的概念和方法论研究

从国外对虚拟样机技术的研究可以看出，虚拟样机和虚拟样机环境的概念现在还处在发展的阶段，Virtual Prototyping 在不同应用领域中存在不同的定义。美国国防部将虚拟样机（Virtual Prototyping）定义为利用计算机仿真技术建立与物理样机相似的模型，并对该模型进行评估和测试，从而获取关于候选的物理模型设计方案的特性。虚拟样机环境则是将多个不同运行规律的模型集成起来，通过仿真测试来指导设计人员将设计思路转化为原型，并通过子系统的优化、集成和仿真测试得到关于该样机的性能描述，并能够提高样机模型开发的效费比和缩短新产品的研制周期。U. Jasnoch 和 H. Kress 等人认为虚拟样机环境是将 CAD 建模技术、CSCW 技术、用户界面设计、基于知识的推理等技术、设计过程管理和文档化技术、虚拟现实技术集成起来，形成一个基于计算机、桌面化的分布式环境以支持产品设计过程中的并行工程方法。Stefan Haas 等人则认为，虚拟样机的概念与集成化产品和加工过程开发（Integrated Product and Process Development，简称 IPPD）的概念不可分割。美国国防部将 IPPD 定义为一个管理过程，这个过程将产品概念开发到生产支持的所有活动集成在一起，对产品及其制造和支持过程进行优化，以满足费用和性能的目标。IPPD 的核心是虚拟样机，而虚拟样机技术必须依赖 IPPD 才能实现。

3.2 武器系统虚拟样机环境中集成方法研究

复杂武器系统虚拟样机模型一般由若干子模型组成。这些子模型由不同的研制部门提供。要利用

服务层 底层 支撑 结构	集成	交互	应用	数据生成
	产品和过程数据			
	对象管理和信息共享层			
	计算机平台和网络			

图 1 VP 技术分类示意图

Fig. 1 The classification diagram of VP techniques.

这些模型进行计算机辅助试验和效能评估,首先需要将各个子模型进行集成。国外虚拟样机模型集成方法一般是通过标准协议和接口来对不同模型进行代码级的集成,如美国军方的SBD(Simulation Based Design)计划中的网络构造器,它是一个设计大程序(MegaProgram)的软件生成工具,通过它可以各个子模型程序包装起来,并通过标准的接口进行互操作。另外,一种模型的集成方式是在DIS中的高层体系结构(HLA)中所描述的以联邦和联邦成员为基础的集成方式。这种集成的核心是一个非常复杂的运行时间框架(Run Time Infrastructure,简称RTI)机制来完成的。每个联邦成员都要通过发布请求向RTI说明其能够提供哪些HLA中的对象属性,而RTI为所有联邦成员发布的属性更新信息提供有效的路由服务,对象行为由联邦成员具体实现,在HLA中的对象的概念是指在一个可重用的仿真系统中所描述的一个以数据交换为中心的功能抽象,它支持仿真中不同模型系统之间有效的数据交换。在HLA中把数据交换的数据信息与操作这些数据的功能分开,正是出于以数据交换为中心与重用联邦中仿真资源的考虑,从而尽量减少对其结构的改变。Uwe Jasnoch等人1994年提出一种层次化的以通信系统为基础的虚拟样机模型集成策略。这种集成体系结构分为三层:用户层的集成、信息模型层的集成和数据管理层的集成,它主要是面向CAD模型的集成,在集成过程中运用了分布式数据库技术、NFS和RPC,并且在CAD模型的集成过程中符合产品数据库标准STEP协议。

3.3 武器系统虚拟样机环境可视表现和交互方法研究

虚拟样机在设计过程中,可视化和交互是必不可少的要求。从子系统部件模型造型设计直到整个虚拟样机CAD模型集成完毕,仿真测试以及效能分析,都离不开可视化系统的支持。CAD造型可视化系统已经发展的比较成熟,如AutoCAD、CATIA、Pro/E等。虚拟样机交互工具软件在评估产品的性能时使用,一般需要具有实时或半实时特性,如一些能使用户产生强烈沉浸感的虚拟现实、动画、多媒体软件等。虚拟现实软件是产品数字化设计时最常用的交互工具软件。在没有很强的实时性要求的情况下,也可以采用一些商用的可视化软件,如Wavefront、MultiGen、Gemini等。在逼真度要求很高的条件下,只有超级工作站(如SGI Onyx工作站)才能胜任复杂的计算和实时的图形显示。

虽然可视化技术已经在虚拟样机CAD模型的造型过程中得到广泛的应用,但是对于虚拟样机总体设计过程中可视表现方法和交互方法等问题仍然没有一个通用的解决办法。因为虚拟样机总体设计的目的是为了将特定的总体CAD和数学模型在计算机上进行仿真试验,通过在高性能计算机上进行直观的可视化表现和多次的仿真运行,得到关于该虚拟样机的仿真运行数据,并通过可视化的事后分析工具对这些数据进行统计分析和比较,从而得到关于虚拟样机模型的效能评估报告。武器系统虚拟样机可视化表现子系统的设计目标就是:把武器系统的虚拟样机模型仿真运行得到的结果,以三维可视化的形式表现出来,通过使用高档SGI工作站平台,利用先进的可视化三维造型软件(如MultiGen)进行造型,使人产生较为强烈的沉浸感,从定性和定量两方面达到虚拟样机可视化表现的要求。整个虚拟样机表现过程中涉及到多种媒体之间的协同和数据动态交换,并且对武器系统虚拟样机设计模型的三维可视化有较高的要求。

4 武器系统虚拟样机环境中的关键技术

虚拟样机技术是建模仿真技术、虚拟现实(Virtual Reality)技术、计算辅助设计/制造(CAD/CAM)以及计算机支持的协同工作(CSCW)等技术的综合集成。利用虚拟样机技术,将现代管理理论、系统工程方法、模型技术和计算机工具有机地结合起来,就可以建立分布式的支持产品的全寿命周期设计和评估的集成化环境。武器系统虚拟样机环境在设计和实现过程中主要涉及以下关键技术。

4.1 虚拟样机环境中集成技术

武器系统虚拟样机环境中的集成工具主要分为两类:一类是支持IPTs之间相互通信和信息共享的组间集成软件;另一类是支持交互、应用和数据生成工具之间进行链接的工具间集成软件。针对武器系统研制部门的实际需求,需要对研制单位中已有的设计模型进行集成和组装,通过仿真试验获得虚拟样机的性能数据并进行分析。模型集成技术是利用面向对象的柔性框架技术、柔性模型接口和模型组件库技术,支持协同工作条件下各个IPT设计单位所设计模型的数据共享和重用。

武器系统总体设计过程中, 各个 IPTs 中设计人员之间使用的建模工具和由此产生的模型数据格式各不相同, 总体设计部门要根据总体的实际需求对模型进行简化和集成。这需要对不同设计部门的模型进行集成和分析。由于建模工具不同和软硬件平台的差异, 这就为虚拟样机模型的集成带来很大的困难。工具间集成软件的发展较为缓慢, 通用的工具集成软件目前还没有出现。较为典型的情况是, 针对不同 IPTs 之间特定的交互、应用和数据需求, 编制一些定制的用户界面程序, 通过这些程序实现不同开发工具之间的交互。比较典型的工具间集成软件是 Lockheed 公司正在开发的 SimBuilder 和 NetBuilder。它们以公共对象请求代理体系结构 (CORBA) 标准为基础, 前者用于建立工作开发中的事件和时间同步机制, 后者用于组装由统一时间驱动的大型工程仿真程序。

4.2 虚拟样机环境中协同工作流技术

虚拟样机环境的最终设计目标是使不同地点、不同平台上的设计人员能够通过该系统在产品开发的全过程中进行虚拟协作。在虚拟样机总体设计过程中, 设计模型和文档在不同的 IPTs 之间传递, 由于各个集成化设计部门的管理组织形式不同, 使得产品设计文档在不同设计单位中的流动过程也不相同。如何正确的组织各个设计单位的信息流动以支持各个 IPT 之间的模型传递和共享, 是一个值得研究的问题。通过支持工作流自动化, 使产品设计的全周期过程得到有效的管理和控制, 可以方便 IPT 设计人员进行开发。在武器系统虚拟样机设计过程中, 主要是通过开发一些与武器系统产品设计相关的协同工作工具, 支持武器系统设计过程中不同部门、不同设计室之间进行的方案讨论、任务分配、武器系统总体参数设计、武器系统子模型设计、模型设计的阶段控制、技术状态冻结以及模型文档的管理等。在武器系统虚拟样机环境中, 设计人员可以通过网络在统一的虚拟样机产品原型上完成设计工作。项目管理人员也可以随时了解虚拟样机设计工作的进展情况, 并对设计流程进行管理。模型数据和设计文档在不同 IPT 之间的传递, 在武器系统总体设计过程中主要体现为虚拟产品原型在总体设计和分系统设计人员之间的流动。除了一些共享的多媒体文档和邮件外, 还要共享关于数学模型和 CAD 模型的层次化的数据。由于总体和各个分系统设计单位对模型的颗粒度要求不同, 因此不同层次的设计人员和管理人员可以看到不同层次的模型数据和数据文档。此外, CAD 模型和数学模型是由不同的应用工具和数据产生工具产生的, 要交叉共享 CAD 数据和数学模型数据, 必须建立支撑虚拟样机环境中应用和数据产生工具的底层协同支持层软件。

4.3 虚拟样机环境中计算机可视化技术

计算机可视化技术是虚拟样机设计过程中必不可少的一项关键技术。从虚拟样机初步设计到最终的模型设计完毕, CAD 模型贯穿虚拟样机设计的始终, 利用最新的三维造型技术和虚拟现实技术, 支持产品设计过程中的可视化, 进一步支持对 CAD 模型的跨平台的共享和协同操纵。虚拟样机设计中对可视化的要求比较高。在武器系统虚拟样机环境中, 通过三维可视化表现子系统将总体 CAD 模型与被集成后的武器系统总体数学模型对应起来, 使数学模型的仿真过程以三维实体可视化的形式表现出来, 并允许用户在可视仿真过程中与表现系统进行交互。三维可视化表现系统还支持武器系统虚拟样机试验过程的方案性演示, 同时在虚拟样机模型研制过程中, 建模者还可以通过可视化子系统对虚拟样机模型进行仿真试验的可视化表现。虚拟样机环境的可视化要求能够使应用者产生强烈的沉浸感, 交互手段灵活多样。在样机模型设计时, 各个部分的 CAD 造型是不同的 IPT 建立的, 分布在网络上, 总体设计中需要对已有的部件 CAD 造型进行组装。

5 结束语

虚拟样机技术作为一种新型的集成化产品设计和开发手段, 贯穿于武器系统设计、研制、生产、评估的全寿命周期中。通过武器系统虚拟样机环境的建立, 将设计、生产、采办部门紧密地联系起来, 从而将对新型号武器系统研制生产的全过程进行有效的管理。西方发达国家, 特别是美军武器装备的发展经验表明, 在资源相对减少、技术复杂度越来越高、对抗环境变化越来越快的情况下, 利用虚拟样机技术对武器装备实行全寿命、全周期、全系统的管理是提高武器作战效能的有效途径。同时虚拟样机技术起到了加强采办部门与武器系统研制部门之间协同的“桥梁”作用。(下转第 57 页)

捷、查询快速等许多优点，但在数据类型、对象间关系和对象间互操作等问题上尚存在不足。随着近年来数据库技术的发展，面向对象数据库具有一些先进特性，如任意数据对象、继承特性和封装特性。利用面向对象数据库开发模型库管理系统将是未来的发展方向。

参考文献

- 1 王维平. 离散事件系统建模与仿真. 国防科技大学出版社, 1997
- 2 熊光楞等. 连续系统仿真与离散事件系统仿真. 北京: 清华大学出版社, 1991
- 3 E F Codd. Extending the database relation model to capture more meaning. ACMTans. Database Systems, 1979, 4 (4)
- 4 T T Lee and M Y Lai. A relational algebraic framework for models management, in: proceedings of the 1994 Winter Simulation Conference. Lake Buena Vista, FL 1994: 649 ~ 656

(上接第 61 页)

参考文献

- 1 North American Technology And Industrial Base Organization. Collaborative Virtual Prototyping Sector Study. Report May, 1997
- 2 ED Haug. Simulation Based Design for Military System Supportability and Human Factors. Report. October. 1995
- 3 DMSO. Virtual Prototyping-Concept to Production.
- 4 U. Jasnoch, H. Kress. Towards a Virtual Prototyping Environment. IFIP Workshop on VP, 1994
- 5 Stefan Haas. Cooperative Working on Virtual Prototypes. IFIP Workshop on VP, 1994