

基于服务组件的复杂机械产品协同仿真系统架构^①

张 涛, 王 悦, 贾 磊, 张庆利, 彭 波

(中国运载火箭技术研究院研究发展中心, 北京 100076)

摘 要: 功能各异的 CAE 软件在提高产品仿真分析效率的同时也带来了一系列工程问题, 大量仿真作业中的多层次流程管理是其中一个关键问题, 而且各种 CAE 软件的功能模块集成是企业真正实现仿真作业流程化管理必需解决的问题. 首先根据复杂机械系统仿真的特点总结出机械产品通用的仿真流程, 为了实现机械产品仿真过程真正的流程化, 引入统一仿真模型(Unified Simulation Model, 简称为 USM)的概念, 以解决仿真过程中的知识、对象、流程的统一问题. 同时结合 Web 服务技术将经过测试的仿真组件模型进行有效发布, 来提高模型的互操作性和可重用性. 最后将该技术应用于协同仿真环境建设, 并通过实际工程应用验证了技术的可行性和灵活性.

关键词: 仿真; 集成; 流程; 统一仿真模型

Collaborative Simulation System Structure of Complicated Mechanical Product Based on Web Component

ZHANG Tao, WANG Yue, JIA Lei, ZHANG Qing-Li, PENG Bo

(CALT R&D Center, China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China)

Abstract: The existence of various CAE engineering softwares improves the simulation efficiency, and also brings out a series of engineering problems at the same time. One of them is how to effectively manage hierarchical simulation process. During the simulation process of mechanical product, the integration of function modules of various engineering software is the key problem to realize simulation task flow. Based on the mechanical simulation features, this dissertation concludes a common mechanical simulation flow, puts forward the concept of Unified Simulation Model, and makes use of Web Services technique in order to make model reused. It has been proved in the design and utilization in an aerospace product that research work in this paper is highly useful in engineering application.

Key words: simulation; integration; workflow; USM

1 引言

随着机械产品复杂性的不断增长, 以及企业间竞争的日趋激烈, 传统的产品设计方法已经很难满足企业当前生存和发展的需要. 在计算机上建立机械系统各种仿真数学模型, 能够迅速、灵活的进行虚拟试验, 方便对产品的设计检验和再设计, 缩短产品设计的研发周期, 可以带来巨大的社会效益与经济效益, 因而基于仿真技术“以虚辅实”以实现设计方案的快速验证是未来产品研制的必然趋势.

火箭、飞机和船舶等复杂机械系统设计仿真过程中, 会涉及到结构强度、动力学、静力学、流体力学、

系统虚拟仿真等多学科分析, 甚至是多学科多场耦合分析^[1]. 面对此类情况, 本文以有效管理大量仿真作业中的多层次仿真流程为目的, 采用面向服务的组件式思想, 研究仿真过程的统一仿真模型描述、定义和流程化驱动技术, 利用统一的仿真过程建模和运行环境, 将不同工程领域的仿真模型结合在一起, 并根据需求定制多层次仿真分析流程, 对产品进行工作流程驱动下多学科虚拟仿真, 从而对产品进行设计优化、性能测试和仿真评估.

1.1 组件

组件是指在软件系统设计中能够重复使用的模块,

^① 收稿时间:2014-09-26;收到修改稿时间:2014-11-03

它包装了一系列互相关联的操作和服务,作为一个在整个分布式系统中可以即插即用的独立对象,能够方便的将其功能服务进行封装^[2]。基于组件的设计架构与一般的基于信息的架构相比,最重要的改进就在于采用了组件化的思想组织零散的业务逻辑,对于不同对象的相似操作将归入同一组件。不同流程对同一组件的调用,只需在组件定义中指定操作所需的相关数据和执行该操作所需的服务即可。

1.2 Web Services

Web Services 是在 Internet 上进行分布式计算的基本构造块,是组件对象技术在 Internet 中的延伸,是一种部署在 Web 上的组件^[3]。它融合了以组件为基础的开发模式和 Web 的出色性能。Web Services 和组件一样,能提供重用功能,同时可以把基于不同平台开发的不同类型的功能块集成在一起,提供相互之间的互操作。从这点看,Web Services 既是软件又是应用程序集成的平台^[4]。应用程序是通过使用多个不同来源的 Web

Services 构造而成的,这些服务相互协同工作,无论它们位于何处或者如何实现。

2 仿真过程管理

2.1 层次化的协同仿真过程

协同仿真是一项复杂的工程项目,涉及跨学科领域仿真人员之间的协同工作,需要协调和管理复杂、庞大的仿真团队来保证协同仿真过程的实施^[5]。项目管理就是把接受到的仿真任务作为项目进行组织和管理。

以齿轮减速器的动响应分析为例,由于目前没有全过程模拟软件,只能通过多领域软件协同实现,某些分析所需的数据也往往需要其他分析的结果协同确定。整个仿真过程涉及齿轮减速器的系统静力学分析、结构件刚度分析、齿轮啮合刚度分析、误差分析及系统动力学分析等多学科领域的协同仿真,相互之间存在较为复杂的逻辑关系,如图 1 所示,可知对其进行有效的管理和控制必然是一个十分复杂的过程。

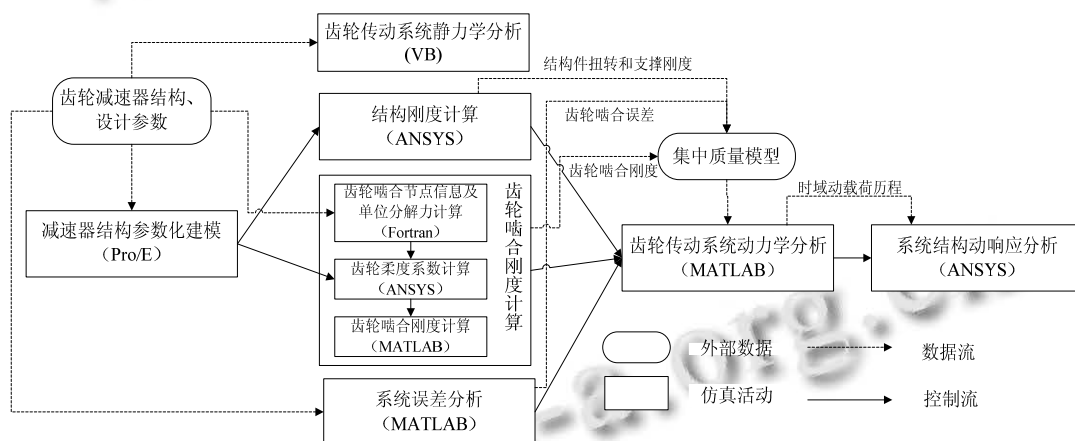


图1 齿轮减速器动响应分析流程

从技术角度看,不管协同仿真过程多么复杂,都可以应用项目管理中的层次分解来简化对协同仿真过程的管理,即将整个项目分解为若干子项目,每一个子项目又可分解为若干分析类型,每一个分析类型又由若干仿真任务构成。根据分层建模理论,上述齿轮减速器的动响应分析的层次化管理模式如图 2 所示,从上至下依次为项目层、子项目层、分析类型层和仿真任务层。其中:

1) 项目层是动力传动协同仿真过程最高层次的抽象,直接服务于协同仿真的实施总目标,即齿轮减

速器动响应分析。

2) 子项目层是一种基于群体协同工作方式的逻辑结构层。可按仿真需求或学科领域动态设定,它从组织上保证了协同仿真的敏捷性和并行性。

3) 分析类型层是在较粗粒度上对项目进行的划分,由相互之间存在一定顺序关系、制约关系、数据需求关系的若干分析类型组成,面向参与协同仿真过程的某一协作群体,如齿轮啮合刚度计算、系统动力学分析等。

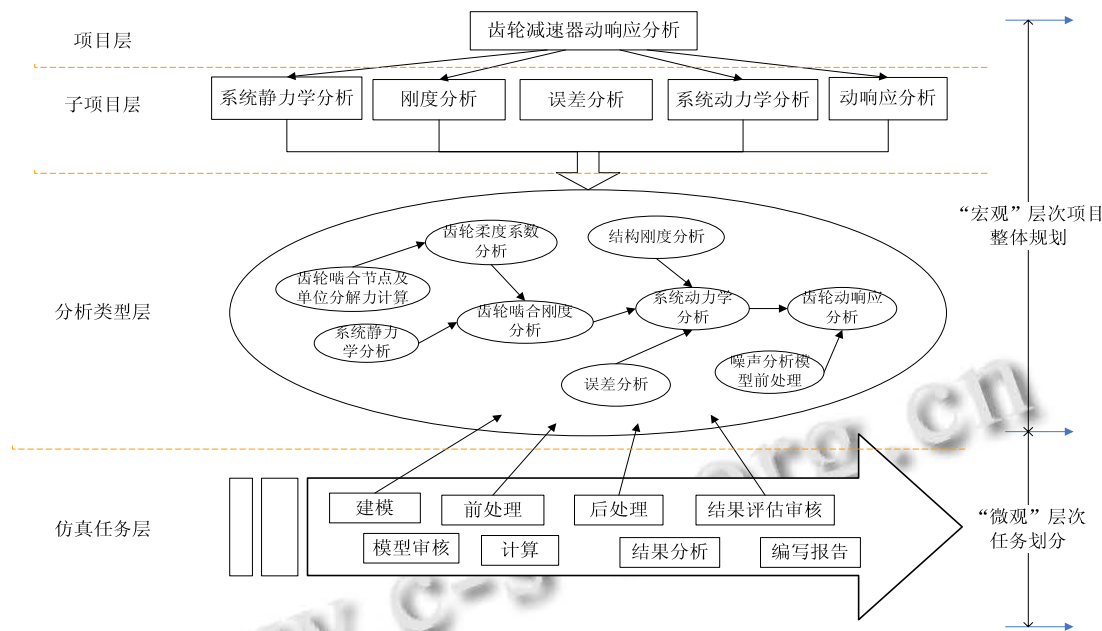


图 2 仿真过程的层次化管理模式

4) 仿真任务层是在较细粒度上根据不同分析类型要求所进行的划分, 面向参与协同仿真的特定角色。多数仿真活动包括建模、前处理、求解、后处理、结果分析等一系列活动。

从总体角度出发, 动力传动协同仿真过程管理由两个层次组成, 上层完成项目的“宏观过程”管理, 下层完成“微观过程”管理。从项目层到分析类型层表现为仿真团队之间的分工与合作; 从分析类型层到仿真任务层则表现为以完成某项具体任务为目的, 仿真成员之间内部行为的协调。通过对协同仿真过程不同层次的抽象, 可以将某一具体的协同仿真项目看成是由多个团队组织管理的彼此相关的任务集合; 而在分析类型层下又可将某一具体任务分解为基于 workflow 管理范畴的活动的有机序列。上层项目管理者所要完成的工作是对项目进行整体规划、优化和控制; 中层管理员的主要工作是完成仿真流程的建模和定义; 而底层用户的主要保证仿真任务执行正确的操作, 即通过借助各种计算机仿真工具, 完成 workflow 管理系统所分发的各项仿真工作。

2.2 复杂机械系统的通用仿真流程

对于复杂的机械系统, 由于产品研发过程中要进行仿真分析的内容繁多, 将涉及的仿真类型及内容进行总结, 按照仿真需求将流程划分为两大类分析内容, 系统分析和结构分析, 图 3 是基于流程驱动的复杂机

械系统通用仿真过程。

3 统一仿真模型定义及运行

3.1 仿真组件

仿真组件概念的提出是为了对仿真任务进行适当粒度的分解, 以便于对复杂系统仿真流程的管理和控制, 同时仿真组件是从成熟的仿真知识和专家经验提炼出来抽象而成的^[6]。每个仿真组件虽然实现的功能各有不同, 但具有相同组织格式和统一管理模式。基于协同设计环境, 有了仿真组件, 用户可以快速、准确的完成整个仿真任务。仿真组件实质上是将仿真分析任务分解成便于理解和操作的属性定义功能模块, 每个仿真组件都是相应仿真功能模块的封装, 用户可以通过拖拽仿真组件, 便捷地组合成一个完整的仿真流程任务, 通过流程引擎对仿真流程任务的控制, 将会极大地降低仿真分析者的操作难度和复杂度, 从而提升复杂系统仿真工作的效率, 进而实现系统设计方案快速验证。

3.2 仿真组件的分类

复杂机械系统仿真过程均由系统分析和结构分析两大类组成, 在这两大类分析中都有多种的分析类型; 对于某一种分析类型, 按分析过程划分, 又可把仿真组件分为三大类, 即前处理、求解和后处理。

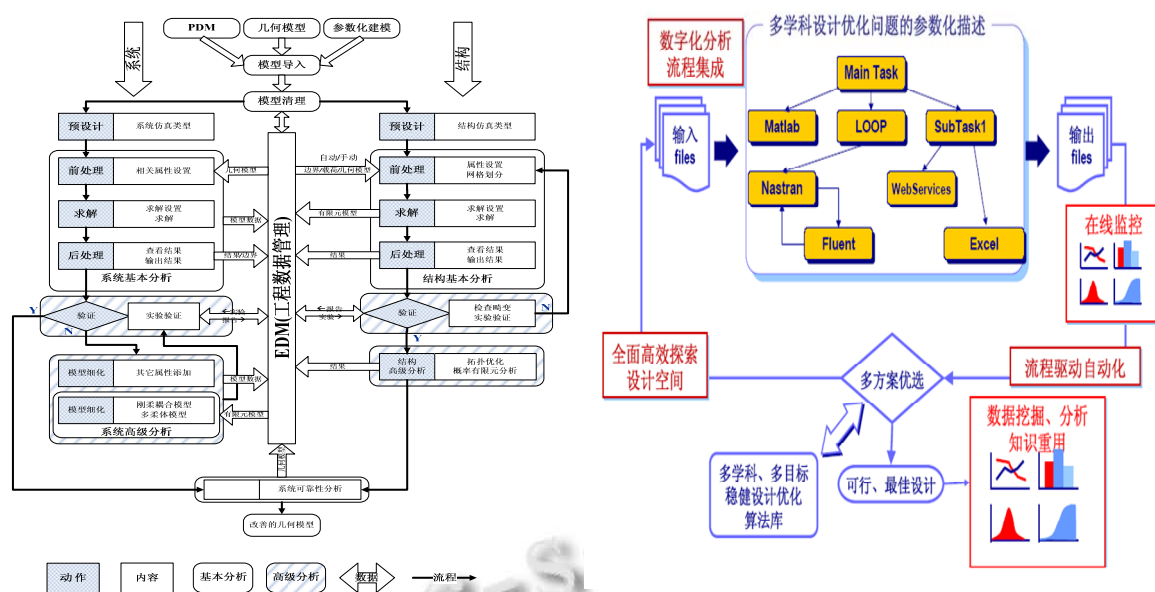


图3 基于流程驱动的复杂机械系统通用仿真过程

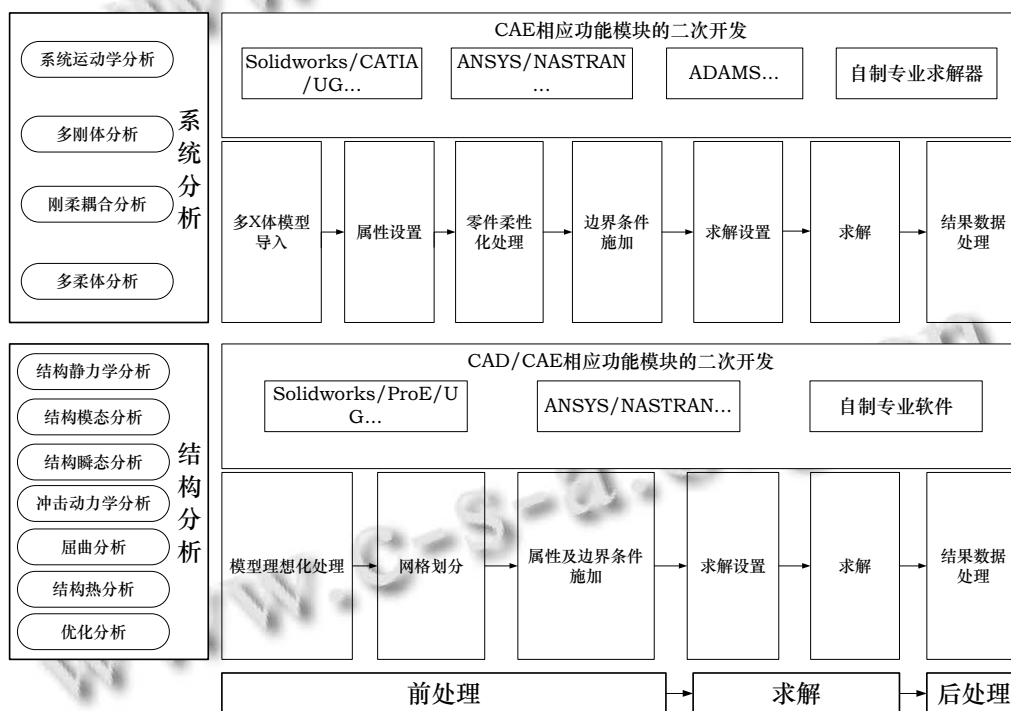


图4 仿真组件的分类

3.3 仿真组件与仿真任务

与仿真组件密切相关和联系的一个概念是仿真任务。仿真任务的实质就是仿真组件的实例化结果，它是构成仿真流程的基本元素，在流程中称之为活动。图5为组件和仿真任务的数据库表内容，仿真任务与仿真组件的关联是靠仿真任务中仿真组件id实现。仿

真任务描述了该任务所具有的信息，如前置和后续任务、任务状态、仿真组件id、仿真流程id、任务描述、任务执行人等。仿真组件存储该组件的Adapter名称、CAD/CAE程序入口点id、任务类型、分析参数、组件描述等。由两个表可看出，仿真组件是仿真任务调用CAD/CAE Adapter和Driver的实现者。

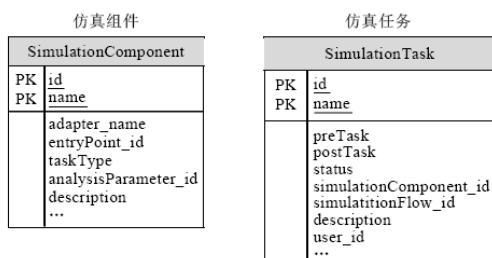


图 5 仿真组件与仿真任务关系

3.4 USM 定义

USM 即统一仿真模型, 是对仿真对象、仿真任务、仿真流程、任务执行者等基本组成元素按一定的逻辑规则统一组织而成的模型, 它可以实现基于仿真对象、仿真活动及仿真流程等元素的视图自由转换. USM 是协同仿真环境中用于确定仿真对象、仿真任务及仿真流程关系的组织模型, 是仿真流程实例运行时的仿真任务执行及流程处理的标准, 它保证了在不同的仿真过程阶段中模型的统一.

在 USM 建模或运行环境下, 以不同的组织模式显示 USM 构成称之为 USM 视图. USM 视图包括三种: 面向设计对象视图、面向设计活动视图和面向设计流程视图.

(1) 面向设计对象视图: 由产品、部件和零件三个层次构成的树形结构, 以设计对象为主载体, 把相对对应的设计活动及原子任务组织而成的视图. 把复杂机械系统按从产品到部件、从部件到零件的层次逐级分解, 部件和零件对应有其相关的设计活动和原子任务.

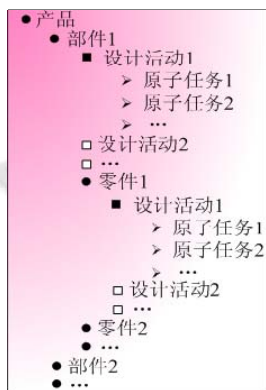


图 6 面向设计对象视图树

(2) 面向设计活动视图: 以设计活动为主线, 以每种设计活动包括的所有设计对象及原子任务所组织而成的视图. 以前述的设计活动为第一子节点, 在设

计活动下为其对应的应有全部部件或零件, 部件或零件下为相应的子流程任务.

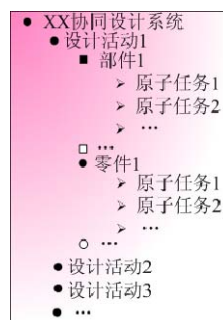


图 7 面向设计活动视图树

(3) 面向设计流程视图: 以设计流程任务为主线, 由设计流程中的任务所对应的设计对象、设计类型、前置设计任务、转移条件、实例检索数据、任务执行人和专业设计模板等任务属性所组织而成的视图. 将设计流程按任务级别逐级分解, 每级的内容对应相应级别中的各设计任务和辅助任务; 设计任务和辅助任务下对应有各种相关属性, 如设计对象、设计类型、前置设计任务、任务转移条件、任务执行人、任务时间段等.

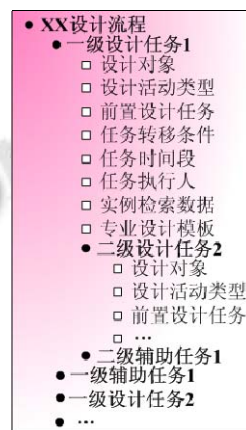


图 8 面向设计流程视图树

一个 USM 模型具体的生成过程是: 把一系列的设计任务类、原子任务和辅助任务结合设计对象进行实例化, 同时对各中设计活动赋予相应的运行属性并指定任务执行人, 根据实际的产品仿真过程确定出实际的仿真流程.

3.5 USM 运行框架

以 USM 为核心的协同仿真环境的技术构架如图 9

所示. 协同仿真环境的总体架构采用 MVC 模式, 各层之间通信是基于 Web 服务方式, 如 Web Portal 和客户端以 HTTP 协议服务形式通过相应的 Servlet 调用 USM 对象模型, APP 服务器中的 DFM(Design Flow Management)知识流引擎以 Web 服务方式提供给 USM 对象模型调用.

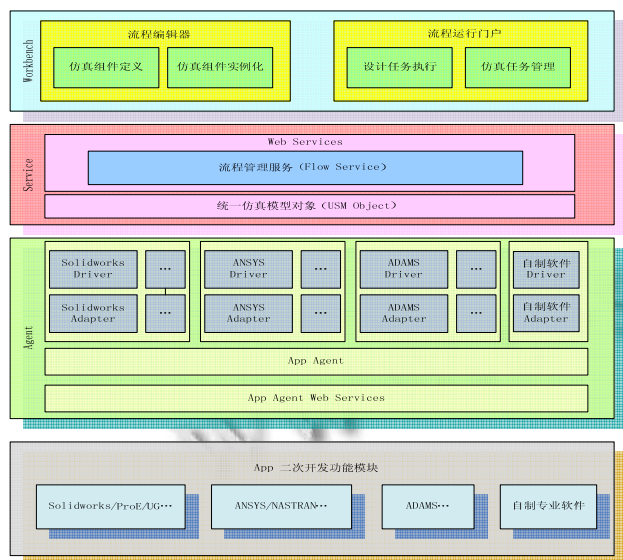


图9 以 USM 为核心的协同仿真环境运行框架

(1) Workbench 端: Workbench 由流程编辑器和流程运行门户两个模块组成. 设计对象在流程编辑器中体现为仿真组件定义和仿真组件的实例化(即生成仿真任务); 设计对象在流程运行门户中体现为仿真任务执行和设计流程调度管理.

(2) Service 服务端: 此处通过统一仿真模型对象(USM object)采用 Web Services 方式提供流程管理、数据管理和任务状态管理等核心服务, 支撑多层次流程执行过程的路由驱动.

(3) Agent 代理端: 由 Agent Web Services、App Agent、App Adapter 和 App Driver 等四部分构成. Agent Web Services 负责向 USM 提供流程管理服务, 如启动、停止设计任务等; App Agent 负责把 Web Services 接受的请求进行解析, 并分发给相对应的 App Adapter 和 Driver; App Adapter 的任务是启动对应的工具软件, 并将参数传递给执行模块; App Driver 的任务是把设计任务执行过程和执行结果进行入库处理, 从而向数据管理和报告管理提供数据源.

(4) App 二次开发功能模块: 把设计任务执行过程

中需要用到的工具软件进行相应的二次开发, 使其具有支持该环境数据传输和调用的功能, 每一个原子任务均有对应的二次开发功能模块.

4 应用实例

项目组基于 SOA(Service Oriented Architecture)架构, 采用 Eclipse 集成开发环境, 开发了协同仿真平台, 包括流程编辑器和流程执行器, 并以某航天产品设计为应用实例进行初步验证.

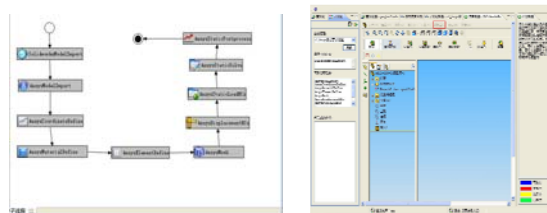


(a) 设计对象视图

(b) 设计类型视图



(c) 设计流程视图



(d) 仿真流程建模环境 (e) 仿真流程运行环境

图10 某航天产品应用实例

5 结论

本文的研究成果已成功应用于某协同仿真平台的设计和原型系统构建. 项目的实际研发和应用表明,

相较传统的仿真过程, 基于 workflow 驱动的复杂系统协同仿真已显示出明显的优势, 对于机械系统仿真需求的变化有较强的适应能力, 系统整体结构清晰, 服务组件明显提高复用程度, 组件功能扩展简单方便, 具有较强的工程应用前景和应用价值.

参考文献

- 1 陈曦,王执铨,吴慧中.复杂产品虚拟样机技术研究.计算机仿真,2005,22(12):132-135.
- 2 徐洪珍.基于组件技术的手机管理软件的设计与实现.计算机应用与软件,2009,(9).
- 3 吴俊君.基于服务组件架构的企业应用集成研究.现代经济信息,2009,(15).
- 4 王雅新,李兵.基于 Web 服务的可互操作性 e-learning 模型研究.福建电脑,2007,(8).
- 5 王海伟.机械产品协同仿真环境及其关键技术.计算机仿真,2008,25(7):294-297.
- 6 张涛,杨小辉,王海伟.基于组件的机械仿真架构及流程控制技术研究.计算机工程与设计,2009,(14).