

文章编号: 1001-2486(2002)04-0091-05

武器系统总体设计集成框架设计与实现*

周鸿伟, 李 权, 李 群, 王维平, 汪 浩

(国防科技大学人文与管理学院, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 讨论了支持武器系统总体设计的集成框架所要解决的主要问题, 提出了基于共享产品模型和过程建模的集成框架体系结构, 结合某武器系统的总体设计, 研究了实现这类集成框架的主要技术问题, 最后, 给出了一个运用集成框架进行导弹外形设计的计算实例。

关键词: 总体设计; 集成框架; 产品模型; 过程模型; 应用集成

中图分类号: TP319.3; V221.2 文献标识码: A

The Design and Implementation of Integration Framework in the Weapon System Concept Design

ZHOU Hong-wei, LI Quan, LI Qun, WANG Wei-ping, WANG Hao

(College of Humanities and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha, 410073, China)

Abstract: Major issues in integration framework to support the weapon system concept design are discussed. A new architecture based on sharing product model and process model is proposed. Research on implementation of an integration framework is carried out in the light of the concept design of a weapon system. A computing sample is given considering shape design.

Key words: system design; integration framework; product model; process model; application integration

1 武器系统总体设计与计算集成框架

导弹武器系统的设计过程是一个复杂的系统工程, 总体设计是大系统的技术综合, 必须将各个分系统视为一个有机结合的整体, 使整体性能最优、费用最小和周期最短^[1]。导弹总体设计过程包括以下几个主要步骤: 军方提出作战任务要求, 总体设计人员根据已有的设计经验和当前的技术发展水平选择和确定主要方案, 然后进行总体设计参数选择以及参数分配与实验, 局部方案原理性实验以及初步设计结果试验与分析, 模型装配及仿真等, 整个过程不断迭代反复进行。

近年来, 随着计算机技术在总体设计过程中的大量运用, 设计信息、计算模型、分析试验数据、设计过程愈来愈复杂, 系统之间的交互也日趋复杂。为更好地支持设计分析集成以及多学科设计优化, 提高总体设计水平, 有必要考虑新的结构来支持现阶段下的武器系统总体设计。

总体设计是一个计算密集的复杂过程, 这个过程是由多学科、多用户协同进行的。在设计过程中, 对设计空间的搜索与人员的决策相结合, 决策的过程主要基于设计人员的判断, 但是可以利用计算机工具提供方便的辅助决策手段。此外, 应用间的交互, 包括通信、数据交换等, 由于缺少有效的辅助手段使得总体设计人员难以实现总体设计过程的集成工作。在武器系统总体设计过程中, 由于涉及到不同学科、不同领域复杂的商用软件及已有的系统, 无论是从设计流程还是信息交互以及计算复杂程度上来讲, 这个过程非常复杂。

为此, 人们提出了计算集成框架^[2]的概念, 集成框架本质上是一个问题解算的计算机支持环境, 它利用计算机技术构建一个支持面向特定应用的支撑平台, 使用户以更方便的手段实现特定的总体设计任务。集成框架的提出使得总体设计人员有能力将复杂的计算过程与各学科领域的专业工具结合起来^[3], 更重要的是, 集成框架能够帮助用户以尽可能简单而直观的描述手段, 快速生成各种“设计想定”, 从而试验各种可能的设计方案与参数的组合, 并自动进行性能分析, 加快总体设计过程, 减少

* 收稿日期: 2002-03-05

作者简介: 周鸿伟(1973-), 男, 博士生。

迭代设计过程中的时间和费用。

针对在某大型武器系统总体设计中,总体设计、工程分析与仿真效能评估的集成问题,本文提出了一个支持武器系统总体设计的集成框架,这一框架主要从工具间通信、产品信息的表示、应用间的协作与控制三个方面来解决集成中遇到的主要问题,应用间的互操作、应用间的数据共享与交换、基于 workflow 的应用管理等方面是研究的主要内容。

2 对集成框架的需求

在计算机的许多应用领域,都提出了计算集成框架的概念^[4]。显然,计算集成框架的特点与应用的需求是紧密结合的。根据用户方的使用现状与未来一段时间的需求,我们所考察的武器系统总体设计,有以下几个特点:

不同的学科由不同的人员利用不同的工具相对独立完成任务;一些子任务存在并行执行的可能;任务特点体现为计算密集、数据结果格式复杂;对事务、同步等要求相对较低;以有限的方式表示设计流程及人员的交互。

集成框架的目的是为多学科设计、分析与试验过程的集成提供一个集成的开发与运行环境。根据集成框架的任务与应用的特点,按照以下四个领域来讨论对集成框架的需求:

· 体系结构设计

(1) 集成框架应该提供直观的图形用户接口 (GUI)。用户应能很容易地熟悉和使用集成框架开发和部署应用。

(2) 集成框架应是可扩展的,支持新的过程和计算的集成。用户可能要求将新的领域的应用、优化方法、试验与仿真程序等集成进来。

(3) 集成框架应该对于整体计算的负荷没有明显的影响。

(4) 集成框架应尽可能地利用已有的系统和成熟的标准。

· 问题的形式化描述

(1) 用户应该能够借助于集成框架配置包含复杂的分支决策和迭代反馈的总体设计过程建模,建模方式应该是可视化的、易于使用的。

(2) 用户能够利用集成框架重新配置对已有问题的描述,如替换新的计算模型、加入新的设计分析过程、删除过程、重新连接反馈关系等等。在总体概念设计的不同阶段,一般采用不同可信度与复杂度的计算模型,因此,计算模型的可替换性非常重要。当总体设计人员逐步考虑更多的设计领域的因素,设计集成的过程也是一个逐步扩展的过程,支持新的设计分析过程的引入就非常必要。

(3) 集成框架应该支持将遗留代码(以各种程序语言编写)与商用系统(源代码不公开)集成进来。集成框架应该提供工具创建封装应用的输入输出的包装器 (Wrapper)、激活 (Invoke) 相应的分析设计工具。

· 集成设计过程的执行

(1) 集成框架可以自动实现过程的执行,完成数据在不同应用之间的转换。现有条件下,总体设计过程中不同学科设计人员必须以非自动的方式(通知、邮件等)等待别的设计人员完成工作,并将输出转换为自己可用的输入。集成框架可以使得输入数据的准备、过程的执行、输出数据的产生及数据在不同过程间的传递自动进行。

(2) 集成框架应该提供用户运行时控制手段。例如,用户调整计算模型或修改限制约束条件,对设计变量的取值区间放松或缩小等。

· 信息访问

(1) 集成框架应该利用数据库管理系统来实现多学科应用的数据服务,多学科的数据能以规范的模型表示,以便于多学科之间信息的共享与交换。

(2) 在总体设计集成的多阶段、多种数据之间,建立易于理解和使用的追溯 (Tracing) 关系,使

用户不仅仅凭经验来判断设计变量、约束变量、目标函数、系统性能之间的关系。

(3) 对于中间或最终试验分析结果, 集成框架应该提供各种手段供用户分析之用, 如图表、曲线等。

当然, 以上的分析只是从最一般的概念提出对集成框架的需求, 作为多学科设计集成的平台, 集成框架应该主要考虑应用的需求。在实际的设计过程中, 以上的目标可能按照实施的难易程度, 分阶段分步骤进行。

3 总体设计集成框架

总体设计集成主要是解决在计算机等自动化工具参与的情况下, 总体设计集成中多学科、多任务、多用户之间的交互问题。根据交互在时间、空间及设计对象不同维数上的分类, 将集成分为各有侧重又相互联系三类: 数据集成、过程集成以及应用集成^[5]。数据集成解决总体设计中应用间数据交换问题, 过程集成通过过程建模及执行, 使得设计分析过程可以自动或半自动地进行, 应用集成则考虑如何将用户所采用的自有或商用系统纳入集成体系中。在此基础上, 提出了分层的系统实施框架, 保持基础服务、核心过程与具体应用之间的相对独立性。

针对前述目标, 提出图 1 所示的集成框架系统结构。

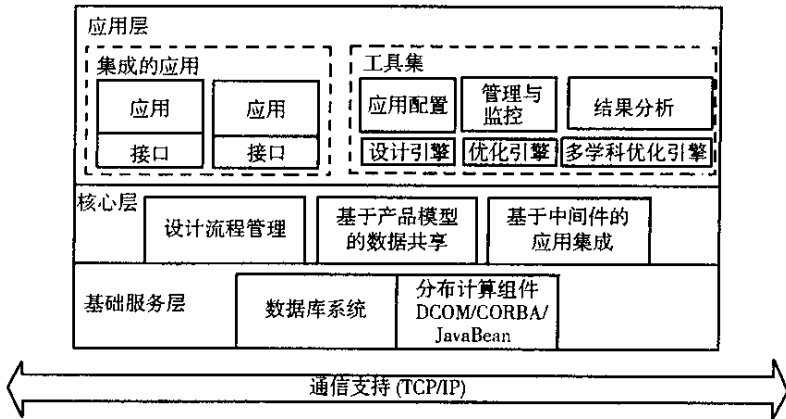


图 1 总体概念设计集成框架

Fig. 1 The integration framework for concept design

整个集成框架分为以下三个层次:

应用层: 提供集成框架到用户、应用的接口。应用层按照提供的对象又可分为两部分: 集成应用与工具集。集成的应用一般包括 CAD 外形设计、气动分析、结构计算、弹道仿真程序等。工具集包括应用配置、管理与监控、结果分析等, 应用配置提供用户灵活部署各种应用的手段, 管理与监控则使用户可以管理整个总体设计过程, 结果分析则提供总体设计人员对设计结果进行分析, 修改参数、设定反馈条件, 进行新一轮的总体设计。

在工具集中, 比较重要还有设计引擎、优化引擎及多学科优化引擎, 设计引擎负责对于一般设计对象的表示, 如设计变量类型(连续、离散)、区间取值范围等; 总体设计中大量采用各种优化算法(经典、启发式、试验设计等), 将这一部分作为独立的工具集纳入集成框架, 由用户根据问题的类型选用; 多学科优化引擎则是传统优化的进一步延伸, 将比较成熟的算法形式化, 供用户作为可选模块选用。这些工具集, 主要是要发挥设计人员对于设计分析过程的经验, 将其与特定领域问题中独立出来, 可以很好地支持不同类型的设计应用。

核心层: 提供应用集成所要求的主要功能。包括三个部分:

(1) 设计流程管理。为支持灵活地对总体设计过程的表示, 提供过程模型的可视化定义手段、过

程模型的执行引擎、过程模型与应用的接口。设计流程的模型表示主要强调了对于设计过程中的迭代、反馈、设计冲突、优化模型的集成等的表示。

(2) 基于产品模型的数据共享。定义集成产品模型, 描述应用之间的数据共享关系, 集成产品模型是基于 STEP 系列协议的扩充。集成产品模型除了表示静态的产品结构数据外, 还能表示产品功能领域及行为领域的特性, 使得设计、分析与仿真应用间的数据交换能在一致的集成产品模型支持下进行。

(3) 基于中间件的应用集成。应用集成包括商用软件与遗留代码的集成, 总体设计中应用的商业软件不论是从使用还是数据接口, 都极为复杂, 并且一般无源代码。在本项目实施的初期阶段, 主要考虑集成遗留代码。传统的遗留代码的主要问题在于: 基于过程的程序设计、数据交换采用文件读写的方式, 通过将其封装成组件, 采用数据库的形式实现共享数据的存取, 使整个软件系统的结构清晰, 易于维护与扩充, 并为后续阶段的实施奠定良好的基础。

基础服务层: 提供一般的独立的服务, 包括数据库系统与分布计算的基本支持。这一层基本上采用商用软件系统, 数据库系统的选择应该兼容已有的各种设计信息、设计标准等数据的存储方式, 分布计算组件则选择具有跨平台并且易于实现的方案。

通过总体概念设计集成框架的部署, 对于总体设计集成, 针对现阶段的应用需求, 可以初步实现以下目标:

- (1) 通过灵活的方式集成商用的及私有的设计、分析与仿真软件。
- (2) 以一致的模型描述形式 (STEP) 以支持在不同应用间交换设计及分析数据。
- (3) 以用户配置的方式执行设计、分析与仿真过程的集成。
- (4) 提供用户可视化的管理, 操纵多学科设计优化的协调。
- (5) 依据一定的优化算法自动在设计空间寻求设计最优结果。
- (6) 设计结果、分析实验及仿真以可视化形式以进行分析。

总体设计集成框架明确了在集成多学科应用进行武器系统总体设计时遵循的系统方案, 其中, 过程模型的定义与执行、集成产品模型的描述、应用间互操作是解决多学科多用户交互的关键。

4 集成环境开发

实际的设计过程是一个由粗到细、由总体到局部的逐步求精的反复迭代过程。例如, 在最开始的方案评估阶段, 对于气动力的计算, 可能只是采用经验公式, 经过检验发现可能与预想误差较大, 因此准备采用更准确的表格或专门的分析软件, 但此时, 整个设计流程中别的模块可能无需改变。如果没有一个理想的集成框架, 需要修改系统中所有与气动计算相关的应用的接口, 而在集成框架下, 模型的更换、应用的引入可以采取相对灵活的方式, 只要符合系统规范, 采用一致的接口, 对其他应用的影响就要小得多。

此外, 作为在武器系统发展的最早期阶段, 总体设计的一个重要特征就是: 设计尽可能地简单, 不过早涉及到详细的设计细节, 只需要表示出最主要的设计特征参数; 另外, 复杂的 CAE 工具一般也不大采用, 计算公式或表格的方法更可取。主要在于强调一个快速演化、迭代的设计、分析与实验的全过程, 以尽可能短的时间、小的代价进行多次设计, 为后续的详细设计奠定基础。

为此, 我们初步实现了一个支持设计分析一体化的武器系统总体设计集成框架, 整个环境的特点如下:

集成框架采用 Java 作为主要的开发语言, 主要是考虑到 Java 跨平台的特性, 应用部门采用的平台是 Windows 和 UNIX。采用 Java 的 JNI 技术作为集成平台与本地程序接口的方法。比较简单的模块, 可以考虑以 JavaBean 的形式集成。

提出了过程描述语言及相应的可视化过程模型建立环境, 实现过程模型与数据模型、应用模型的结合, 过程模型的执行由试验设计、优化算法、过程描述共同驱动, 完成总体设计的迭代反复过程。

采用 STEP 产品数据交换标准及其建模语言 EXPRESS 作为集成产品模型的定义工具，Oracle 作为数据存储的工具，是考虑到原有应用的大多数数据是存储于 Oracle 中，并且，Oracle8 以后的版本提供了对象 - 关系建模，将 EXPRESS 语言的面向对象的数据建模能力与 Oracle 数据库的高性能很好地结合，并且可以与现有的其他数据共存于统一数据库中。

5 应用研究实例

应用总体设计集成框架，以某大型武器系统总体设计为例，初步实现了支持一定应用集成的设计分析一体化过程。

整个总体设计的应用包括：几何外形设计、结构分析、气动分析、推进系统计算、弹道分析、效能评估、费用估算等模块。现阶段，各个应用模块无论是从模型还是计算都采取比较简单的方式，几何外形是主要特征信息的轮廓图，结构、气动分析采用公式和表格的形式，没有采用复杂的有限元分析，效能评估则与已开发的攻防对抗仿真模块相结合。主要考察某型武器在总体设计中方案选择与主要设计参数的调整对于给定条件下战术指标的实现情况。

6 结束语

大型武器系统的总体设计是一个复杂的多学科多用户的协作过程，采用先进的计算技术可以提高设计质量、缩短设计周期和降低设计成本。本文从软件集成体系结构的角度出发，结合总体设计中应用的基本特点，论证了总体设计对于集成框架的基本需求。针对于某武器系统的总体设计集成中遇到的问题，提出了一个初步的系统方案，并结合设计实例解决了总体设计集成中遇到的主要问题。如何支持更复杂的商用应用集成、更多变量的总体设计过程以及更细粒度的模型将是我们下一步研究的重点。

参考文献：

- [1] 甘楚雄等. 弹道导弹与运载火箭总体设计 [M]. 北京：国防工业出版社，1996.
- [2] Weston R P, Townsend J C, Eidson T M, et al. A Distributed Computing Environment for Multidisciplinary Design [R]. AIAA 94 - 4372, Sept. 1994.
- [3] Salas A O, Townsend J C. Framework Requirements for MDO Application Development [C]. 7th AIAA/USAF/NASA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization, St. Louis, Missouri, AIAA 98 - 4740, September 2 - 4, 1998.
- [4] 郭阳等. CAD 集成框架研究技术综述 [J]. 计算技术与自动化, 1997, 16 (2): 1 - 6.
- [5] 周鸿伟. 武器系统总体概念设计集成技术研究 [D]. 国防科技大学博士学位论文, 2002.
- [6] Industrial Automation Systems and Integration - Product Data Representation and Exchange - Part 1: Overview and Fundamental Principles [C]. ISO 10303 - 1: 1994 (S), ISO, Geneva, 1994.

