

网格环境下基于模拟的协同设计与制造^{*}

张书台^{1,2} 桂亚东² 杨卫东¹

(北京科技大学信息工程学院 北京 100083)¹ (上海超级计算中心 上海 201203)²

摘要 基于模拟的虚拟产品开发涉及到建模和模拟技术,模拟主要是设计评估和验证,确保设计的性能,验证设计的缺陷。本文介绍了一种网格环境下的协同设计与制造技术,分析了松耦合的协同设计与制造,结合网格的最新研究进展,设计基于模拟的虚拟产品开发,更有效地利用各种有效的资源,缩短产品开发周期,实现网格环境下协同设计与制造。本文主要集中在基于模拟设计的协作网格环境开发的分析与设计。

关键词 网格,虚拟产品开发,问题求解环境

Simulation-based Collaborative Design and Manufacture in Grid Environment

ZHANG Shu-Tai^{1,2} GUI Ya-Dong² YANG Wei-Dong¹

(Information Engineering School, Beijing University of Science and Technology, Beijing 100086)¹

(Shanghai Supercomputer Center, Shanghai 201203)²

Abstract Simulation-based Collaborative Design and Manufacture is a process which involves modeling an dsimulation technology, in which simulation is the primary means of design evaluation and verification to ensure manufacturability of the product and its performance. This paper describes a technology of Simulation-based Virtual Product Development in grid environment, analysis loosely coupled collaborative design and collaborative manufacture, integrates with the latest technology of grid, designs simulation-based virtual product development, and makes use of effective resource to shorten the product development cycle, and achieves collaboration designer and manufacture, This paper mainly focuses on the development of a Collaborative Grid environment for the purpose of Simulation-based Design.

Keywords Grid, Virtual product development, Problem solving environment

1 引言

1.1 现代设计和制造现状与趋势

伴随着计算机技术的不断发展和进步,计算机支持下的协同设计和开发,越来越受到工业和计算机企业界的普遍关注。目前,基于知识的设计与信息大部分都是以数字化的形式存在,并且掌握在不同的所有者或者企业内部不同的部门所有。同时,企业面对是激烈的竞争、苛求的客户、细分的市场、越来越复杂的产品、越来越短的产品生命周期、严格的法规和环境保护要求、系统集成和供应链问题、爆涨的样机试验成本等,这些对企业提出了更高的要求,使得产品的开发也已经变成了一种分布式的任务。基于虚拟产品的现代设计与制造就是在这种情况下应运而生,不同的设计者、不同的设计部门,各自设计产品的某一部分,然后通过计算机模拟的方法,进行整合、模拟,进行产品设计后的分析,比如汽车制造、飞机设计、新药等许多行业都属于这种类型。这种基于模拟的虚拟产品开发对于现代工业是十分有益的,可以缩短产品的开发周期,降低开发成本,进一步提高生产力,提高企业竞争力。

1.2 高性能计算机及其企业模拟软件的现状和趋势

高性能计算机的应用领域也在随着科学技术的发展,有了更广泛的应用领域。高性能计算机作为一种工具,允许科学家和工程师解决越来越复杂的问题,并且这种领域已经推广到了所有科学和工程。尽管高性能计算机的计算能力在近

50年的时间内,我们已经经历了这种快速的发展^[1],包括技术、体系结构、系统、供应商等,近十几年平均每年增长59%,从1988年到2004年,浮点速度增长了1000倍。但是,高性能计算机远远没有满足实际不断增长的需求。

企业模拟软件,一般是一些大型的工业应用软件,这些应用软件在制造飞机、汽车、船舶、机床、复印机、医疗器械,高尔夫球杆、儿童玩具、系统芯片(System on Chip,简称SOC)等,从概念开发、详细设计、测试以及生产中,都有比较完善的软件来模拟和验证。另外,Patran, Nastran, Marc, Adams, Dyt-ran, LS-DYNA,以及集成电路设计、验证软件等等,这些软件价格昂贵,维护起来较复杂,并且都要求具有高性能的计算机。

1.3 存在的问题

目前高性能计算机及其工程模拟软件,有了迅速的发展。各种成熟的软件层出不穷,而且越来越完善。但是这种软件和高性能计算机在工程应用中也存在一些问题。具体表现在^[2]:1)设备利用率问题,一般情况下大型机有40%的时间处于空闲状态,Unix服务器有90%的时间处于空闲状态,多数的PC有95%的时间处于空闲状态。平时我们的PC机使用效率很低,从操作系统的任务管理器上可以看出,CPU的使用经常在1%~5%之间。只有在启动一个程序或者运行一个大型程序时,CPU的使用率才高一些。2)大型的工程应用和模拟软件及其昂贵,维护起来相当复杂。有些大型机或

^{*}基金项目:国家自然科学基金委项目,网络计算环境综合试验平台,项目编号90412010。张书台 博士研究生,研究方向为网络计算,并行计算。桂亚东 高级工程师,研究方向为并行计算,网络计算。杨卫东 博士生导师,研究方向为控制理论与控制工程。

资源是稀缺或不可复制的,有些资源无法和特定的地理位置分开。这一切都造成了资源的极大浪费,而有人急需这些资源,却没有购买这些昂贵的 IT 设备和工程应用与模拟软件的资金。3)系统之间的集成问题(如动态的电子商务)。我们知道现阶段我们开发的软件有一个很严重的问题就是所谓的“烟囱式”问题,即各个应用程序之间的联系是很弱或是没有的。如各企业系统之间信息交互问题,这是企业进行电子商务所必须解决的问题。这一问题在企业规模较小时,可能显现不出来,但一旦企业的规模很大,要和其伙伴或客户进行电子商务时,这一问题就很不明显地暴露出来。

这些矛盾都需要一种技术进行解决,我们就是基于存在的问题,提出了网格^[3]环境下基于模拟的虚拟产品开发和协同制造技术。同时,网格计算就是提供这种计算能力和解决系统集成所需要的步骤中的一个阶段。网格环境把网络上现有的计算资源、存储资源看作一台虚拟的“超级计算机”,用户就像使用本地机群一样使用和管理网格上的各种资源。这样组织起来的“虚拟超级计算机”有两个优势,一个是数据处理能力超强;另一个是能充分利用网上的闲置处理能力。实际上,网格计算参与工作的是计算机网络,显然这种方式较以往的以个人计算机为单位的计算方式相比将具有更加强大的数据处理能力。

2 相关工作

2.1 虚拟产品开发

虚拟产品开发(VPD, Virtual Product Development)技术极大地增强了企业的创新能力,它能够在虚拟状态下构思、设计、制造、测试和分析产品,以有效解决那些反映在时间、成本、质量等存在的问题。目前,一些有优势的制造厂商和产品开发公司都把 VPD 作为一项总体经营战略,努力发挥它的最大潜力。新产品开发实质上就是产品的工程设计过程。传统的方法是由工程师设计出产品,并制造出原型,然后进行测试和验证。如果产品达不到规定的要求,就反反复复地进行了这一过程,直到满意为止。

VPD 技术是建立在可以用计算机完成产品整个开发过程这一构想的基础之上。工程师完全是在计算机上建立产品模型,对模型进行分析,然后改进产品设计方案,用数字模型代替原来的实物原型,进行分析、试验、改进原有的设计。这样常常只需制作一次最终的实物原型,使新产品开发一次获得成功。图 1 标示了一个典型的协同设计与制造过程。

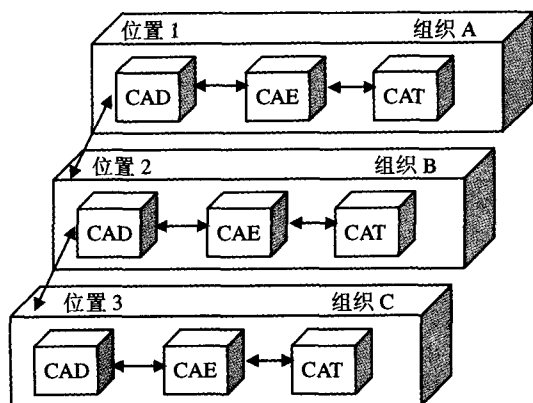


图 1 协同设计与制造过程

CAD/CAM/CAE/PDM(简称 C3P)是实施 VPD 的强大

支持技术,快速原型(Rapid Prototyping,简称 RP)、虚拟现实(Virtual Reality,简称 VR)、Internet(互联网)也都被一些国际上著名的企业作为实施 VPD 的重要手段。VPD 是由从事产品设计、分析、制造、仿真和支持等各合作的各科人员网络所组成。他们通过网络通讯组建成“虚拟”的产品开发小组,将设计人员、工程师分析专家、供应厂商以及客户联成一体,实现异地合作开发。企业通过 VPD 这种新技术把握住产品开发过程,这样的企业就能对客户的需求变化做出快速灵活的反应,并且完全按照规定的时间、成本和质量要求快速地将产品推向市场,这就是开发 VPD 这种新技术的意义所在。

2.2 面向任务的协同设计与制造

在面向任务的设计方法中最出名的是人机社区和界面设计。面向任务的设计方法可以从用户中提取任务,提取用户的目标和工作设置,集中开发一套任务集。这些任务主要用于指导设计和测试系统。

2.2.1 使用案例研究

使用案例的设计方法是 Alistair Cockburn^[4]定义的,已经普遍被软件工程师所接受。案例研究可以提供更详细的有关系统的信息。面向任务的方法主要是面对用户接口设计者,使用案例的方法主要是软件工程师,使得系统需求更容易被使用。因此我们的设计过程涉及到这两个方面。

2.2.2 协作匹配

在协同设计和制造设置过程中,许多设计方法的差异逐渐显现出来。使用案例方法是描述目标,并分解成了各种场景。创建案例的过程符合 Cockburn 模型的要求,将使用案例分解成一定格式的步骤队列,协作组织内人员也能得到充分认可。

在基于模拟的协同设计与制造设计过程中,我们通过一个用户社区来表达任务。社区内的每个参与者都有明晰的步骤,是一种松耦合的关系,依靠一个个连续的场景,完成这些任务。

2.3 基于模拟的协同设计与制造

在虚拟产品开发过程中,一个很重要的工作就是对设计模型的性能进行分析与评估,测试设计模型的性能。因此提出了基于模拟的协同设计与制造,它涉及建模和模拟技术,模拟主要是进行设计评估,对模型进行验证,保证产品的性能。动态市场的出现,客户的要求以及产品开发的竞争,都需要缩短开发周期,降低开发成本,从而立足于世界竞争的潮流中。为了保持这种竞争力,生产商必须做到以下三点:

- 1)根据市场要求,管理逐渐增长的产品灵活性和创新能力。
- 2)更快更灵活的产品开发周期。
- 3)控制管理全球的分布式外购工作。

这三个方面是要求生产商做到的。分布式的产品设计、开发、生产前都能满足这一要求,使得生产商可以保持自己的竞争力,实现各种异构资源的无缝连接和集成。基于模拟的协同设计与制造支持集成的产品和过程模型,有效管理内部独立的分布式产品过程模型。这个过程也涉及到建模和模拟技术。

工程设计的过程,是一个阶段性的过程。从概要设计,要经过一系列分析,综合。计算机辅助设计(CAD)是设计中最常用的工具,用于实现概念的设计,形状和结构。计算机工程分析主要是分析设计问题,验证设计是否符合要求,以及是否符合所要求的限制条件。分析过程通常由 CAE 辅助工具实

现。图 2 是一个比较典型的有限元分析过程。这个过程可以分为四个阶段：前处理、分析模拟器、后处理和报告生成。

前处理过程中的数据，主要由 CAD 数据提供，根据需要进行网格元素的划分生成。其他的非几何信息，例如负载、材料和边界条件，在网格建模过程中也会生成，形成输入数据。

第二个阶段前处理阶段中的有限元分析。分析器检测所

需要的输入数据，执行这些数据，然后生成输入定义的输出内容。这个阶段自动完成，执行中可能需要花费大量的时间，会用到并行计算机和网络计算。最后一个阶段是后处理和报告生成阶段，生成图形化的报告以使用户进行浏览。输出内容通常包含大量的数据，比如压力、变形等等。

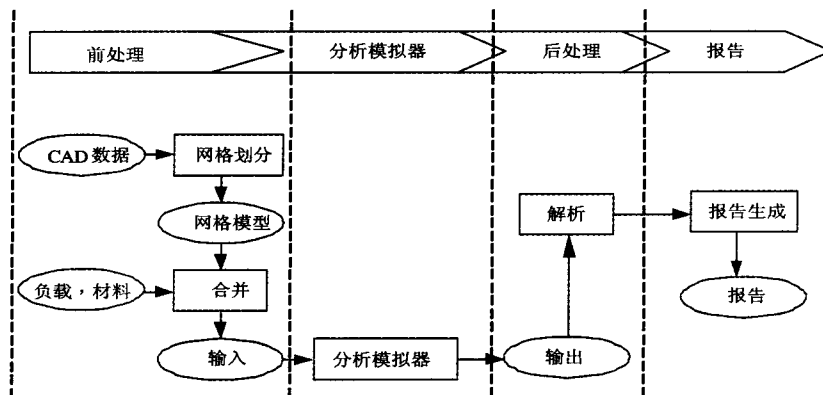


图 2 典型的基于模拟有限元分析过程

3 基于模拟的协同设计与制造网格环境

现如今，在很多领域的应用问题中所需要的并不只是高速计算机，而是由人、计算机、信息(包括可视化信息)组成的统一系统。人与人之间、计算机与计算机之间的合作技术是问题求解环境的核心。在基于模拟的协同设计与制造中，网格是该问题求解环境的桥梁的关键。

问题求解环境是一种计算机系统，可以提供所有目标问题需要的计算设施。这包括高级解决方法，自动和半自动的解决问题方法，以及容易解决的最新解决方法。而且，PSE 使用目标问题集语言，因此用户可以在没有任何计算机软硬件知识的情况下运行这些目标集语言，并通过已开发的现代技术，比如交互式图形，强大的处理器以及特定服务的网络，PSE 允许用户轻松地浏览结果，支持快速原形或者详细分析。

3.1 网格下的基于模拟的协同设计与制造问题求解环境 PSE

设计是一个复杂的活动，许多设计工作要求很多设计团

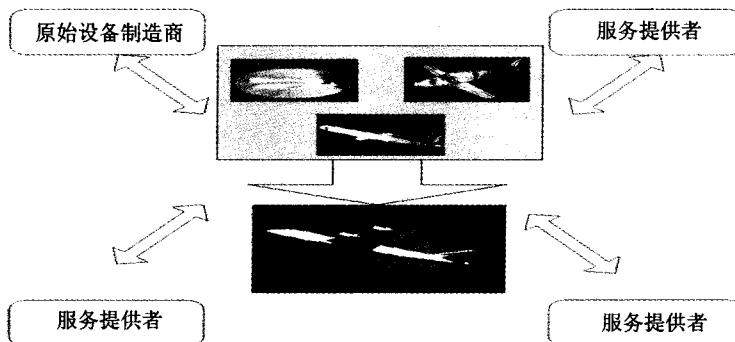


图 3 基于模拟的协同设计与制造示意图

如图 3 是一个典型的基于模拟的协同设计与制造示意图。服务提供商是不同的服务提供商和原始设备制造商，产品开发的各个阶段由不同的人，不同的组织承担。产品生产者拥有管理整个开发流程的工作，确保任何一个环节的连贯性。

3.2 三层数据流算法

根据这种基于模拟的协同设计与制造的特点，我们将整

队的智慧，需要很多团队的一种交互协作。团队之间的交互，涉及到团队成员开发设计理念的交互，以及彼此之间设计理念信息的交互。最初的设计过程是开放的无组织的，而是各种不同信息的整合。在中间阶段，更多的详细结构逐渐显现出来，一些详细地设计更具体的信息也会出现。最后的阶段，是整合设计中详细的文档资料和信息。

设计过程中的学习，通过在具体项目中的积累经验，可以进一步完善项目的开发过程，更好地完成产品的开发，提高产品的性能。信息的获取和处理应该可以提供给整个开发过程，共享信息环境应当支持：

- 1) 共享获得的信息，以及广泛的社会资源信息；
- 2) 共享组织内的检索来的信息；
- 3) 无缝的集成设计学习开发环境；

网格环境下的基于模拟的协同设计与制造问题求解环境，就是解决这种资源共享的问题，解决服务提供商和服务消费者的一个桥梁。

个数据流体系设计为三层灵活的访问结构：

软件设计中一个主要的挑战是为最广泛的用户提供合适的程序接口。新用户要求最简捷的方式访问用户资源，而详细的算法应该隐藏到程序中。为了符合这种挑战和要求，我们根据基于模拟的协同设计与制造的特点和要求，分成三层的访问结构，如图 4 所示。

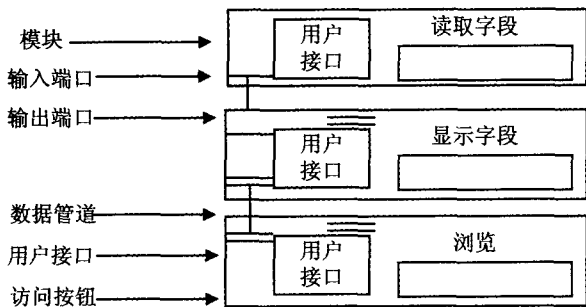


图4 三层数据流结构

3.3 协同设计与制造的数据模型

基于模拟的协同设计与制造系统开发过程,可以作为公司之间各种专家交流的桥梁和平台,但是由于异构的系统,安全性和其他商业因素,使得公司之间共享和交换信息非常困难。更进一步讲,尽管设计分析模型已经描述出来,但是模型的语义内容可能有很大的不同。另外,一个设计模型可能可以映射成多个分析模型。这会造成在设计领域和分析领域之间产品信息的不完整转换。在设计过程中的信息丢失,是我们开发设计的数据模型和模拟框架的动机。

Michel Vrinat^[5]描述的 CAE 的数据模型要求超出文件级的数据管理,要求更加细粒度级别的数据管理。这种模型

不仅仅能更高效地搜索信息,正确有效地使用信息而且可以重用过去的设计和分析工作,比如模板,并能够在整个产品开发周期中管理模拟的数据。

数据模型分为三种,分析抽象模型,分析物理模型和分析执行模型。分析抽象模型,是最重要的一层,因为它连接的是设计域和分析域,捕捉域知识,分析客观对象和需求,设计规则和约束,鉴别各种数据资源。包括性能需求的输入和概念阶段的功能说明,定义规则,方法和限制,也包含特定产品类型的分析信息,包括产品定义,涉及的几何学,分析假设,负载,材料等等。物理模型整合了网格化的抽象模型,而不是负载、材料和边界条件等。执行模型将物理模型转换为执行所要求的输入格式,生成必要的输出格式数据。

3.4 基于模拟的协同设计与制造实现

如图5所示,基于模拟的协同设计与制造作业调度系统,协作环境用户端 Portal 服务器,网格用户作为网格消费的一方,网格用户也就是消费者通过 Portal 服务器,提交自己的作业给网格,网格根据任务的要求,配置模拟服务软件,并行程序软件和独立服务软件,通过作业调度系统将作业按照面向任务的架构实现基于模拟的协同设计与制造。网格服务提供者提供模拟软件,高性能的计算机,以及基于模拟的协同工作,实现与消费者的实时沟通,解决其中出现的问题。

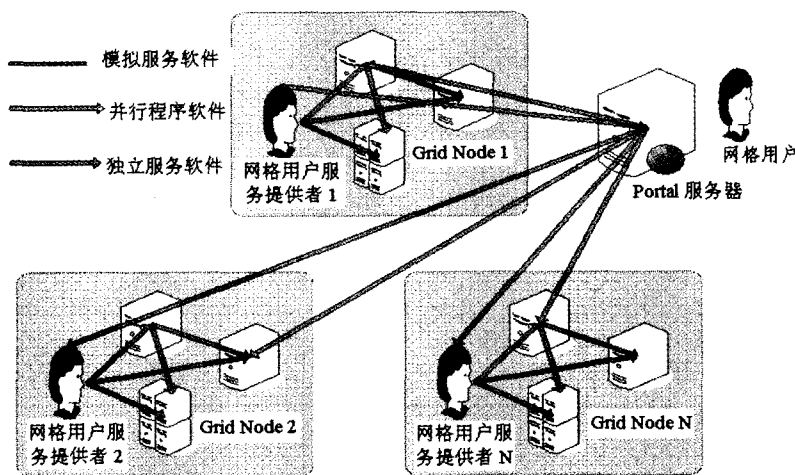


图5 基于模拟的协同设计与制造作业调度

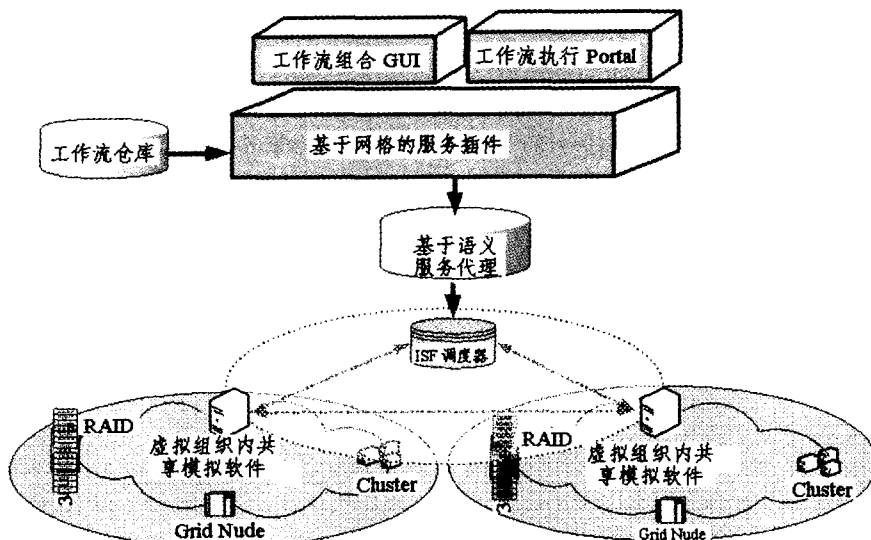


图6 基于模拟的协同设计与制造 workflow

(下转第 177 页)

表1 每个类别各指标的数字特征

指标类别	X1	X2	X3	X4	X5	X6	
A	平均值	8860.8	286.5	15.2	0.48	3.24	1081.4
	标准差	6341.0	244.7	5.8	0.27	1.14	1755.1
B	平均值	14330.3	1303.8	34.8	3.16	10.37	4692.9
	标准差	17131.7	1840.9	29.0	3.98	15.77	7583.5
C	平均值	93725.8	8470.1	84.7	8.53	9.58	1385.7
	标准差	27765.1	4859.6	74.3	11.52	5.93	693.6
D	平均值	43067.5	1272.3	46.9	1.28	2.83	1581.9
	标准差	16232.2	964.6	20.8	0.96	1.51	1209.3

表2 数据集各指标的数字特征

指标	X1	X2	X3	X4	X5	X6
平均值	27811.8	1925.4	37.3	2.73	6.83	2636.2
标准差	32594.7	3348.7	39.8	5.46	10.77	17440.8

从图3可以看出,数据集很明显地被分为四类,分别标记为类A、B、C与D。四个类中,类A、B与D大部分由完整数据构成,而类C大部分由模糊数据构成。同表1中各指标的平均值相比较,表1中类A的各指标的平均值都很小;表1中类B中指标X6的平均值比表2中X6的平均值大得多;表1中类C的指标X1、X2、X3、X4的平均值比表2中相应指标的平均值大很多;表1中类D的指标X1的平均值比表2中指标X1的平均值大得多。通过表1与表2的结果比较,我们可以很容易地理解图3中的各个类别的主要特征。

结束语 ViSOM是数据挖掘中一种很有用的高维数据可视化处理技术,然而标准的ViSOM方法不能处理不完整数据,而实际中很多数据集中每一条数据记录都是完整的情况很少见。文[6]在SOM的基础上为数据挖掘提供一种不完整数据处理方法,然而它不适用于数据指标之间存在相关性的情形。事实表明ViSOM是一种比SOM更有效的数据

可视化方法^[6-8]。本文在文[3]的基础上对缺失数据值的估计方法进行了更详细的讨论与分析,然后对该估计方法的残差进行了分析,并在缺失数据值的估计后,对数据集作了进一步的处理,提出了一种IVIS-IDH不完整数据处理模型,弥补了文[4]与文[3]的不足。

数据挖掘是信息时代发展很快的领域,最初的原始数据通常是不完整的。不完整数据处理技术是数据挖掘中不可缺少的部分。本文提出的IVIS-IDH方法为数据挖掘工作者提供了一种有效的数据挖掘技术,以至数据挖掘者能够充分利用有缺失数据的观测值来证实和加强只用完整数据才能得到数据挖掘结果。

参考文献

- 1 Kantardzic M. Data Mining Concepts, Models, Methods, and Algorithms. Tsing hua University Press, 2003
- 2 Oba S, et al. Missing Value Estimation Using Mixture of PCAs. LNCS, 2002, 2415:492~497
- 3 彭红毅,朱思铭,蒋春福. 数据挖掘中基于ICA的缺失数据值的估计. 计算机科学, 2005, 32(12): 203~205
- 4 Wang S. Application of self-organising maps for data mining with incomplete data sets. Neural Comput & Applic, 2003, 12:42~48
- 5 Kohonen T. Self-organizing maps. 3rd ed. Berlin Heidelberg New York: Springer, 2001
- 6 Yin H. ViSOM—a novel method for multivariate data projection and structure visualization. IEEE TRANSACTION ON NEURAL NETWORKS, 2002, 1: 237~243
- 7 Yin H. Data visualization and manifold mapping using the ViSOM. Neural Networks, 2002, 15: 1005~1016
- 8 Sarveswaran S, Yin H. Visualisation of Distributions and Clusters Using ViSOMs on Gene Expression Data. LNCS, 2004, 3177: 78~84
- 9 Rai Y. A simplified approach to independent component analysis. Neural Comput & Applic, 2003(12):173~177
- 10 Kocsor A, Csirik J. Fast Independent Component Analysis in Kernel Feature Spaces. LNCS 2234, 2001. 271~281
- 11 Theis F, et al. Overcomplete ICA with a Geometric Algorithm. LNCS 2415, 2002. 1049~1054
- 12 Shi Z, Tang H, Tang Y. A fast fixed-point algorithm for complexity pursuit. Neurocomputing, 2005, 64: 529~536
- 13 彭红毅,蒋春福,朱思铭. 基于ICA与SVM的孤立点挖掘模型. 计算机科学, 2006(9):175~177

(上接第137页)

图6所示是基于模拟的协同设计与制造 workflows。最上面的一层是 workflow 组合 GUI, 以及 workflow 执行 Portal, 第二层是基于网格的服务插件, 将 workflow 中的任务翻译为服务需求, workflow 仓库记录整个任务的操作信息, 第三层基于语义的服务代理, 根据翻译的服务需求, 由 LSF, OpenPBS 等本地网格节点内部调度器进行作业调度。分配任务给高性能计算机或者使用高性能计算机上的模拟软件, 完成模拟分析过程, 并将结果反馈给 workflow 执行 portal。

结论 本文讨论基于模拟的虚拟产品开发涉及到建模和模拟技术, 模拟主要是设计评估和验证, 确保设计的性能, 验证设计的缺陷。根据目前虚拟产品开发的特点, 设计实现了网格环境下的基于模拟的协同设计与制造。

本文介绍了一种网格环境下的协同设计与制造技术, 分析了松耦合的协同设计与制造, 结合网格的最新研究进展, 设计基于模拟的虚拟产品开发, 更有效地利用各种有效的资源, 缩短产品开发周期, 实现网格环境下协同设计与制造。本文主要集中在基于模拟设计的协作网格环境的开发。

目前我们做到的网格环境下的协同设计与制造技术, 是一种松耦合的协同设计与制造, 任务的划分比较清晰, 协作部门或者协作单位之间的任务, 只是整个任务的一个环节。下一步, 我们将研究紧耦合的协同设计与制造网格环境。

本文主要讨论了基于模拟的协同设计和制造的整个过程, 结合网格的目的发展趋势和最新的技术, 充分利用现有资源, 实现了基于网格的协同设计和制造的问题求解环境。

致谢 本文得到了国家自然科学基金委(90412010)的资助, 得到了基金委项目组的成员的大力支持, 在此表示感谢。

参考文献

- 1 李国杰. 关于超级计算与能力服务的战略思考. http://www.ncic.ac.cn/news/news_38.htm
- 2 Cutierrez A. e-business on demand: a developer roadmap. <http://www.ibm.com/developerworks/grid/library/i-ebodov/index.html>
- 3 Kesselman F C, Tuecke S. The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations. International Journal of Supercomputer Applications, 2000, 15(3)
- 4 Cockburn A. Goals and use cases. Journal of object-oriented programming, 1997. 35~40, Nov-Dec. 1997. 56~62
- 5 Tech Trend in PLM update. Collaborative Product Development Associates (www.cpd-associates.com), April 2005
- 6 Jeffrey E M. A BDI Agent Software Development Process, MS Thesis, (Advisor: Chang-Hyun Jo), University of North Dakota, USA, May 2002
- 7 Lewis C, Reiman J. Task-centered user interface design. Available via <ftp://ftp.cs.colorado.edu/pub/cs/distribs/clewis/HCI-Design-Books>.
- 8 SIMDAT. <http://www.scai.fraunhofer.de/publications-simdat.0.html>