

中航工业高性能计算和网格应用系统*

HPC and Grid Application System of AVIC

魏金钟¹ 白文¹ 田志民² 邓志¹

1 中国航空研究院 2 中国航空工业发展研究中心

摘 要: 简要介绍了网格计算在航空工业的应用情况, 提出了中航工业高性能计算和网格应用系统AVICGrid的总体框架, 及其在飞机高精度大规模气动计算、气动弹性优化设计和数字化装配等三个典型应用方向的网格实现技术, 实现了AVICGrid原型系统, 为通过网格计算技术提供全行业高性能计算服务打下基础。

关键词: 高性能计算; 网格计算; 计算流体力学; 计算气动弹性; 数字化装配

Keywords: HPC; grid computing; CFD; computational aeroelasticity; digital assembly

0 前言

根据中国航空工业集团公司(简称中航工业)发展战略,要在中国航空研究院建设国内一流、国际先进的大型高性能计算中心和集团公司级别的计算流体力学(CFD)研究与应用中心等前沿公共基础技术共享平台,提升中航工业整体竞争力。可见,中航工业对高性能计算的需求巨大,而通过网格计算技术,可以有效整合中航工业高性能计算资源和数据资源,减少整体购置和运行维护费用,提高资源利用率,提升整体能力。

网格计算^[1]是20世纪90年代由Ian Foster、Carl Kesselman和 Steve Tuecke等人提出的一个分布式计算模型^[2],其核心思想是将高速互联网、高性能计算机、大型数据库、传感器、远程设备等融为一体,为用户提供更多的资源、功能和交互性。在发达国家的航空领域,网格技术被放在战略发展的地位,已得到了高度的重视并取得了很大的

发展,跨地域多厂所网格计算及优势能力互补的IT应用模式也已全面得以应用。

1 网格计算技术在航空业的应用概况

NASA信息动力网格(IPG)是一个集成分布在不同地理位置的计算机、数据库和仪器设备的高性能计算和数据网格,其目标是要大幅度增强NASA科学与工程界解决问题的能力,IPG主要用于参数研究、多学科研究和数据挖掘等领域。一个成功的应用范例是将Cart3D和Overflow等CFD计算软件的作业运行过程自动化地集成在原型软件系统AeroDB,在三天之内,利用位于4个不同地点的13个计算资源,完成了超过1000个Cart3D计算作业和100个Overflow计算作业。

美国波音公司、洛克希德·马丁公司在飞机数字化设计及网格应用方面处于国际前列。利用企业高速网络环

境下的高性能分布式计算设施和分布数据管理系统,建立了企业级网格应用系统。在联合攻击战斗机(JSF)项目中全面推行网格环境下的数字化设计与制造系统,在缩短研发周期、降低成本方面发挥了重要作用。欧洲空中客车公司正在整合大量的传统异构系统,其基本思路是整合分散的飞机设计任务,监视和分析软硬件的使用情况并对其进行优化,需要更新机器或升级软件,减少甚至消除依靠个人主观判断导致的投资浪费,降低IT的总体拥有成本。

德国宇航院(DLR)建有AeroGrid网格计算系统,目标是要在航空科研机构、工业部门和相关的高等院校之间构建一个稳定可靠的、持续的和适用的协同工作基础设施。研究的重点是要保证数据和软件的可追溯性和一致性。通过对发动机内流计算软件TRACE的多单位联合开发和发动机部件的多单位联合设计进行了演示验证。

欧盟计算流体力学网格FlowGrid的目标是通过组建网格基础架构,以及

*国家“863”计划项目课题资助 (SQ2009AA01XK1483550)

开发、部署和共享软件、计算资源和知识,建立一个CFD虚拟组织,以革新在不同地理位置和机构的计算资源上建立的CFD仿真模式。

我国国家科技部“863”计划重大专项支持的“中国国家网格(CNGrid)”是聚合了高性能计算和事务处理能力的新一代信息基础设施的试验床。通过资源共享、协同工作和服务机制,有效支持科学研究、资源环境、先进制造和信息服务等应用。CNGrid装备了自主研发的面向网格的高性能计算机,集成了分布在全国8个省市10个网格结点上的计算、存储、软件和应用服务等多种资源,构成了一个开放的网格环境。通过自主开发的网格软件CNGrid GOS,支撑网格环境的运行和应用网格的开发建设。在资源环境、科学研究、服务业和制造业等领域,成功建立了10多个重要的行业应用网络。

欧盟第六框架计划支持的BRIDGE项目目标是在中欧之间建立一个可进行分布式 workflow 操作和访问分布式存储仓库的跨网格平台,在该平台上运行基于服务的分布式 workflow 的多学科

优化系统,演示中欧合作设计、模拟与数据访问能力^[3]。具体算例是一个包括气动、噪声和结构等专业的飞机着陆过程中的高升力低噪声襟翼设计问题。

中航工业在“十五”期间由国家“863”计划资助开展了航空制造网格研究,在网格应用方面进行了探索,建成了一个局部的高性能计算网格环境和跨企业的数据网格平台,建立了分布式License管理系统,实现了主要CAE软件资源的共享;开发了一个基于网格的飞机结构拓扑优化系统,采用遗传算法解决飞机设计的拓扑优化问题;实现了从单机运行数字样机(DMU)简单组件干涉检查向基于机群的DMU多零件预装配和干涉检查转变。在我国航空工业领域,不少单位也在单位内开始网格技术应用探索。多个主机设计所采用网格技术管理并调度本单位高性能计算资源,重点实现基于策略的高性能计算作业调度管理与机群负载均衡管理、基于策略的CAX软件许可证调度管理及高性能计算软硬件资源管理等。

2 AVICGrid总体框架

中航工业高性能计算和网络应用系统AVICGrid总体框架(见图1)遵循“四横两纵”的构建方式。自底至顶,依次为物理资源层、操作系统层、网格核心服务层和应用层,同时提供面向整个网格环境的监控管理及安全机制。

物理资源层整合各个厂所提供的的高性能计算设施、浮动License、数据等资源;在操作系统层,依托CNGrid GOS支持各个厂所级的计算、数据、软件资源共享,同时基于虚拟化技术实现底层硬件资源虚拟化共享;在网格核心服务层,依托CNGrid GOS,提供面向整个行业的计算资源调度服务、浮动License管理、数据共享服务以及计费服务等,支撑行业典型应用系统的构建;应用层是在核心服务层之上构建气动计算、气动弹性优化设计和数字化装配等三类典型应用系统。

监控管理机制为整个网格环境的日常生产运行提供有效的支持,安全机制确保平台各类资源的私密性。根据职责和权限将用户区分为厂所用户、网络用户、资源提供者和网格管理员等四类。厂所用户是指各个厂所现有的用户,直接使用厂所自有高性能计算、数据资源、浮动License资源等;网络用户是指在航空业内通过全机干涉检查系统、CFD计算系统及多学科多目标优化系统使用网格环境资源的典型应用用户;资源提供者是为各个厂所现有的管理员,负责将厂所自有资源配置到网格环境中;网格管理员负责全局范围内资源的监控管理和配置等任务。

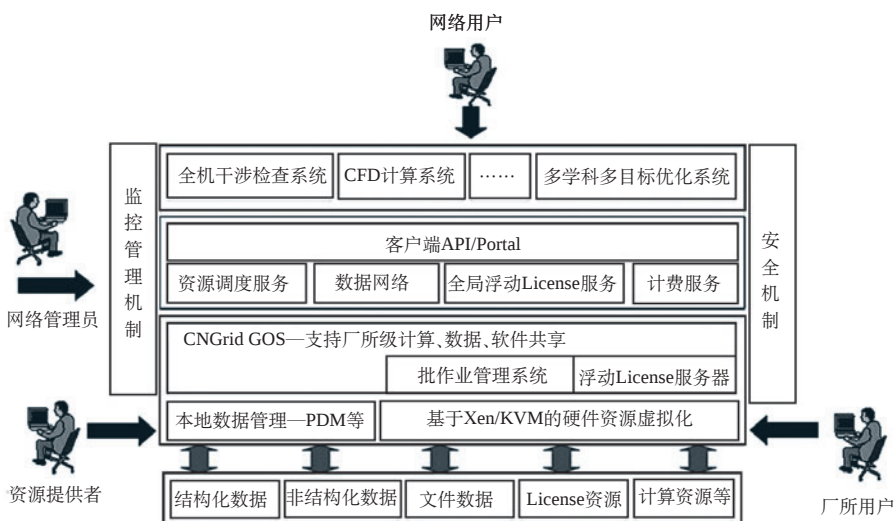


图1 AVICGrid总体框架

3 典型的航空高性能计算应用的网格实现技术

针对飞机设计中大规模高精度气动计算、气动弹性优化设计和全机数

字化装配等三个典型应用,分析工作流程和接口模式,通过AVICGrid系统提供的定制功能定义网格 workflow,开发专用的用户界面,实现对中航工业网络上分布的计算机资源和相关CAD、CFD和CAE软件资源的共享使用。

3.1 飞机气动计算的网格实现技术

CFD计算主要分为前置处理、流场解算和后置处理等三大流程(见图2)。前置处理流程的主要工作是在对飞机模型进行初步设计后,设计人员需要利用CADfix等几何处理工具模型进行适当的处理以适应CFD计算要求,然后通过ICEM CFD、Gridgen等网格生成软件生成计算网格,指定边界条件,组织计算输入参数文件。网格生成工作既可以在本地图形工作站进行,当网格点规模比较大时,可以提交AVICGrid执行,也可以通过AVICGrid远程交互使用位于中航工业大型高性能计算中心的超级图形服务器。计算网格数据文件、边界条件信息文件和计算参数输入文件准备完毕后,通过CFD应用入口将计算任务提交AVICGrid执行,AVICGrid自动进行资源调度和任务分解,构造完成任务列表所需要的数据分包关联图,统计无向图的节点出入度,形成合理的并行化调度方案,将优先级高的数据分包优先存储到AVICGrid数据网格中,使计算网能够尽快地执行更多的并行任务,而优先级低的数据分包可以在网格计算系统负载低的时候进行调度。在批处理计算任务结束之后,将计算结果存放在AVICGrid数据网格之中,通知用户存放结果的地址。计算任务也可在本地计算资源上运行,计算结果可以通过CFD应用Portal导入AVICGrid网格。在后置处理阶段,用户可将计算结果取回本地,也可直接利用AVICGrid进行数据提取和可视化分析

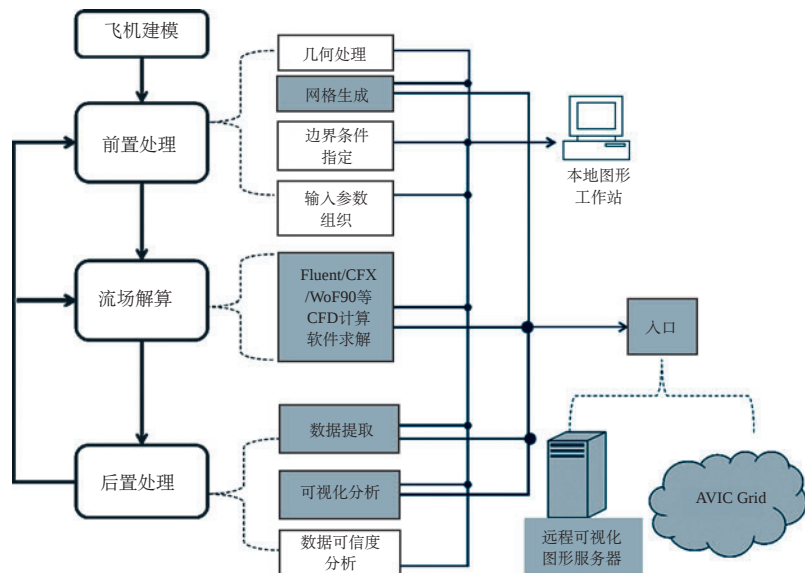


图2 气动计算网格实现流程

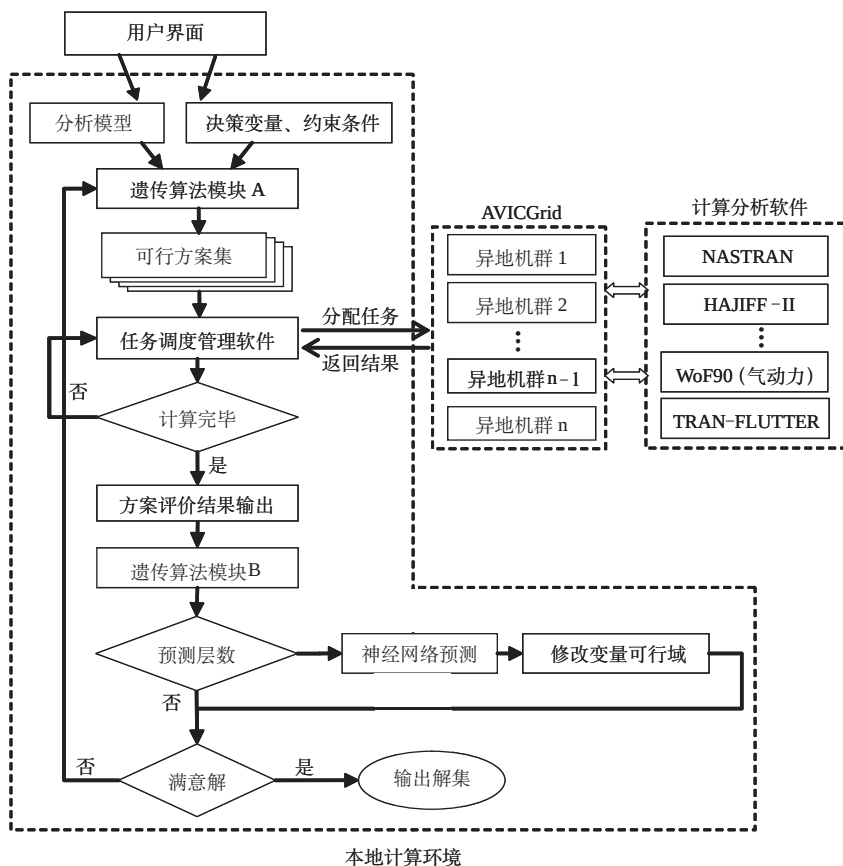


图3 气动弹性优化设计网格实现流程

等工作,其中可视化分析可远程交互使用位于中航工业大型高性能计算中心的超级图形服务器。

3.2 飞机气动弹性优化设计的网格实现技术

飞机气动弹性优化设计网格实现

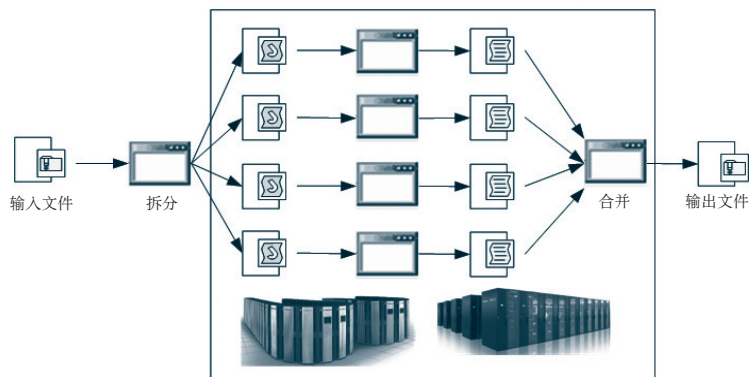


图4 数字化装配中的干涉分析网格实现流程

流程(见图3)为,首先建立动力学模型,进而确定结构设计模型,由动力学模型和结构设计模型计算亚音速颤振,由结构设计变量计算出跨音速CFD非定常气动力,建立响应面,根据结构设计变量,由响应面模型计算出跨音速CFD非定常气动力,加上结构设计变量,实现跨音速颤振的计算。再根据计算结构对结构参数进行圆整,并对圆整后的结果进行静强度校核。上述过程反复迭代,实现跨音速颤振的设计。

通过设计工程库和优化模型生成界面建立优化的数据准备,包括基本有限元模型的建立,优化变量的选取,目标函数和约束条件的建立。通过优化模块和神经网络模块调用多学科的应用软件进行分析,优化迭代。通过网格平台大幅提高运算速度,最终快速得到优化结果。

3.3 飞机数字样机全机数字化装配网格实现技术

干涉分析是利用基于UG软件自行开发的“ugdmu_clearance_analysis”工具进行的。该工具是一个批处理命令,不需要打开CAD图形化操作界面,而是通过数组的方式对选定部件或整机数字样机的两两零件间进行干涉检查。在选定干涉分析的零件后,对输入

数据进行拆分,把一个大的干涉分析作业变成多个小的干涉分析作业。拆分后的每个干涉分析作业都有各自的输入数据和输出数据。作业调度软件将拆分后的作业提交到网格系统中的计算资源池中,在每个计算节点上独立运行干涉分析作业,当所有作业完成后,分析结果由后处理程序进行结果合并,将输出文件存放到PDM数据库中。在引入网格化分析后其分析过程如图4所示。

4 结语

AVICGrid目前主要聚合了中国航空研究院、中航工业一飞院、中航工业洪都集团、中航工业计算所等单位的有限资源,验证示范应用。各方面条件具备和系统本身的技术成熟度得以提升后,将在全行业部署,依托即将建成的中航工业百万亿次量级大型计算中心,面向中航工业所有单位,提供计算服务、应用服务和数据服务。

此外,后续工作还将重点研究云计算等新兴技术的应用潜力和实现技术^[4]。

针对中航工业众多国家重点型号工程和技术发展的重大需求,通过“中航工业高性能计算和网格应用系统AVICGrid”可以实现中航工业高性能

计算资源、数据资源和软件资源的有效共享和方便使用,提升我国航空工业的生产力和信息化水平。中航工业大型计算中心的建成以及AVICGrid系统的完善,将使业内许多单位目前不可能完成的飞机高精度大规模气动计算、飞机跨声速颤振优化设计和全机数字化装配等重要任务成为现实。全集团公司范围的单位和用户将获得大大超越各自现有计算能力的高质量高性能计算服务,采用更高精度和更先进的设计手段,提高工作效率,激发创造性,增强中航工业科技创新能力。

AST

参考文献

- [1] I. Foster, C. Kesselman. The grid: blueprint for a new computing infrastructure [M]. Morgan Kaufmann, 1999.
- [2] I. Foster, C. Kesselman, S. Tuecke. The anatomy of the grid: enabling scalable virtual organizations[J]. Intl J. Super-computer Applications, 2001, 15(3).
- [3] 崔德刚, 黄宁. 欧盟第六框架计划及启示[J]. 计算机集成制造系统, 2003(2).
- [4] 李伯虎, 张霖等. 云制造——面向服务的网络化制造新模式[J]. 计算机集成制造系统, 2010 (1).

作者简介:

魏金钟, 研究员, 主要从事航空科学技术和信息化规划及管理工作。

白文, 研究员, 主要从事CFD及相关航空数值模拟技术研究应用工作。

田志民, 高级工程师, 主要从事高性能计算和信息安全技术研究。

邓志, 高级工程师, 主要从事飞行器概念设计及多学科设计优化研究。