

基于服务的高性能多学科优化计算在飞机设计中的应用*

The Multi-Disciplinary Optimization Applied in Aircraft Design Based on SOA and High Performance Computation

崔德刚 / 中航工业科技委 张睿 杜海 熊青岳 / 北京航空航天大学

摘 要: 基于服务构架 (SOA) 的高性能多学科优化计算在飞机设计的应用中, 能够解决超大规模设计变量和资源不足带来的一系列问题。本文介绍了先进的优化计算方法和基于高性能计算平台的解决途径及优势, 并以 BRIDGE 项目为例介绍了该平台的具体应用。这一研究工作得到了国家“863”计划项目的支持。

关键词: 多学科优化; 飞机设计; 基于服务的构架; 高性能计算

Keywords: multi-disciplinary optimization; aircraft design; service oriented architecture (SOA); high performance computation

0 前言

飞机的设计要涉及到总体、动力、气动、结构、系统等多个学科。这些学科相互交织、相互融合。为满足各个学科对飞机设计的综合要求, 保证飞机设计能够达到最轻的结构重量、最短的周期、最低的成本, 需要利用多个学科设计以达到理想设计指标。多学科优化成为近年来飞机型号设计的一个重要发展方向。

开展基于服务的高性能多学科优化计算在飞机设计中的课题研究, 目标是建立一个满足飞机设计的多学科优化系统和相应的高性能计算环境, 为型号研制服务。

1 面临的问题和解决途径

目前优化技术在航空领域的应用主要面临以下一些挑战: 设计变量与

目标函数之间很难建立清晰的数学表达; 超大数量的设计变量(上千个设计变量), 如何在优化过程中对这些设计变量进行解耦; 超大规模的计算模型, 空气动力计算网格需适应部件量级和结构网格数都需适应全机量级; 不同的计算模型的联合求解, 如空气动力的三维空间网格计算模型与有限元的结构网格模型同时在优化中联合求解; 在优化过程中出现几何位置变化产生的拓扑问题等。

为了解决飞机设计中的多学科优化问题, 工程上的传统方法主要有: 利用少量的优化结果, 插值得到各个设计变量对整个系统参数的影响关系, 即建立设计变量与性能指标的响应面; 通过数学解析的方法, 求得各学科设计变量对整个系统的敏感度, 通过分析敏感度对各学科进行优化; 建立高性能的优化计算

平台, 为多学科优化提供良好的计算环境。此研究方法在一定程度上能够解决飞机设计中的多学科优化的问题, 但都有自己的局限性。

飞机的设计变量与飞机某些性能参数之间很难从数学上找到解析方法, 敏感度分析也是比较困难的。一些商用的优化软件在飞机设计中仅仅适用小设计变量优化。

鉴于采用传统的优化方法很难满足飞机设计的优化需求, 课题组决定采用如下的解决途径: 1) 利用遗传算法解决设计变量与目标函数难以建立清晰的数学解析式的优化问题; 2) 采用多循环优化步骤, 解决超大规模设计变量解耦问题; 3) 利用网格技术和基于服务的高性能计算解决超大规模计算模型的优化问题; 4) 采用无因次化和权重调节法, 解决优化过程中不同计算模型联合求解; 5) 利用模型自动生成技术, 解决优化过程中的拓扑

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

问题。

经过近十余年的努力,课题组不断完善适用于飞机设计的基于服务的多学科优化系统和相应的高性能运行环境,并在多个型号研制中得到验证和成功应用。

2 构建计算平台

本课题建立的用于飞机设计的基于服务的多学科优化系统和相应的高性能运行环境,是基于遗传算法优化系统,利用OPTIMUS工作流管理软件,集成了包括NASTRAN、HAJIF II、DesParo等求解器,运行在与Condor/PBS/LSF等集群管理件集成的AVIC Grid网格平台上。

该系统适应飞机设计的多学科优化,具有良好的鲁棒性,能解决大设计变量的优化问题,计算平台能够提供基于服务的高性能的计算能力,能够实现与异地各个已有集群的资源共享,在工程应用上具有可实现性,并经过了运行考验。该计算平台的体系结构见图1。

该系统可以为各用户提供成熟的优化算法、优化流程和软件服务,可以实现与各地的集群进行资源共享,使多个应用程序能够以服务形式在网格平台上进行航空企业范围内或者跨洲际的并行运算。各个用户在输入设计模型和相关参数等优化计算要求后,就能得到自己关心的性能参数及优化结果。不仅节省了优化时间,共享了各单位的优势资源,而且节省了成本。

该系统在型号研制中曾在与欧盟合作的BRIDGE项目中得到了验证和应用,说明基于网格技术的多学科优化系统可以解决飞机设计中大量的多学科优化问题,有效地解决了航空企业多学科优化技术难题^[1]。

3 在BRIDGE项目的应用

BRIDGE项目是欧盟第六框架计划优先项目,信息社会技术领域网格技术专题国际合作项目,从2007年1月开始至2009年4月结束。该项目的航空应用子项目是由德国科学院数学计算所、比利时LMS公司、空客研发部、北京航空航天大学、中航工业科技委联合参与。

这一子项目的研究背景是:随着使用环境对飞机越来越高的要求,每5年对机场的噪声将提出更高的要求,成为民用飞机研制的重大挑战和技术难关。国外的有关分析表明^[2-3],随着发动机技术的不断发展,飞机在着陆时的起落架和襟翼产生的结构噪声已成为飞机的主要噪声源。在降低飞机襟翼着陆产生的噪声的,同时不降低原有的升力,以保证着陆速度,成为飞机设计的一个多学科优化目标。

该项目的研制目标是选择优化的着陆襟翼位置,使噪声最低,而升力不降或略有提高。要解决优化襟翼放下的位置,使得襟翼放下后产生的远场噪声最低,同时机翼的升力略有提高,形成了空气动力噪声和结构变形的多学科优化问题。由于襟翼位置的变化,带来了空气动力计算网格和机翼结构网格的几何变化,需要解决相应的拓扑优化问题^[4]。

课题组建立了相应的多学科优化准则和相应的优化流程,各项目参与伙伴根据自己的优势对项目作出了相应的贡献。中航工业科技委为项目提供总体设计、多学科优化系统GAO、非定常空气动力计

算、气动弹性计算HAJIF II,空客公司为项目提供噪声计算服务,德国科学院数学计算所为项目提供响应面服务DesParo,LMS公司为项目提供了工作流管理系统OPTIMUS^[5-6],北京航空航天大学 and 南安普顿大学为项目提供网格计算平台GOS和GRIA。

项目历时两年半,达到了预期的研究目标,形成了基于服务的多学科优化平台,并对一个民机机翼的襟翼成功地进行了优化。该项目包括了以下几方面的研究:

1) 计算模型的自动生成,包括机翼上的两组襟翼位置,自动生成CATIA几何模型,根据CATIA几何模型,自动生成300万个空间网格的空气动力计算模型,以及300个节点的有限元计算模型。

2) 气动噪声计算是由非定常空气动力计算提供流场的压力脉动,再由气动噪声计算软件对机场的远场噪声进行

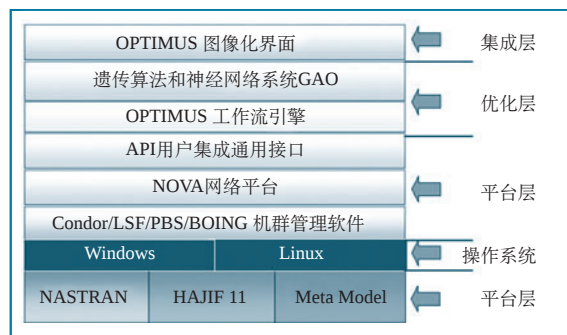


图1 基于服务的多学科优化高性能计算平台体系结构图



图2 运行在中欧网格平台上的多学科优化系统

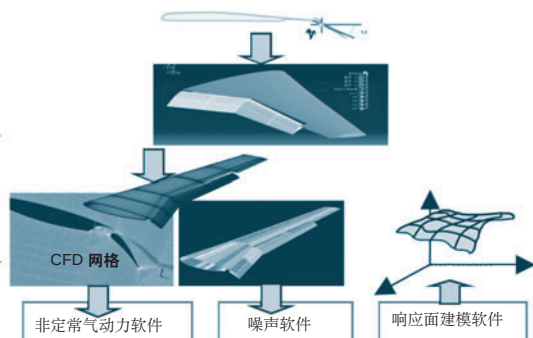


图3 建立用于噪声分析优化的响应面流程

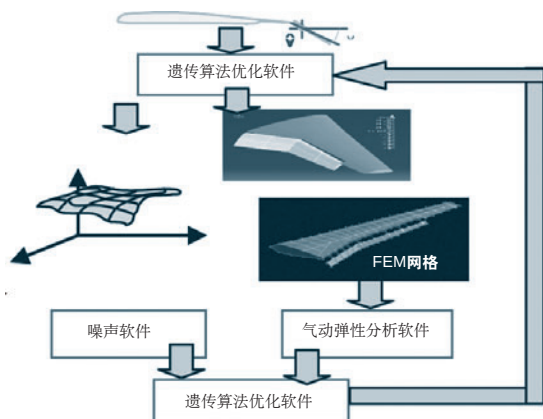


图4 基于服务的多学科计算流程

分析得到相应的噪声数据。由于每次非定常气动力计算需要进行3万次CFD计算,在大规模并行计算机上需要7天,气动噪声计算每次也需要3~4天,这样给需要进行多次分析的优化带来不可接受的超长计算时间问题和长期占有巨大资源的需求,因此在工程上是不可行的。

3) 为解决上述的计算时间过长问题和资源占有问题,本课题利用德国科学院数学计算所提供的DesParo软件,建立有限个襟翼位置、偏角与其产生的气动噪声之间的响应面^[7]。利用网格平台以服务形式建立该响应面的工作在参与伙伴之间进行,历时6个月。

4) 利用德国科学院数学计算所提供的响应面服务和北京航空航天大学集群提供的气动弹性分析软件HAJIF II,进行噪声和升力的综合优化,每次计算历时

15天,在中欧集成的网格平台上进行12万次计算,共进行了两次,重复性很好,实现了飞机着陆时襟翼噪声降低2.37db和省力提高 $\Delta C_y=0.0056$,达到了预期的目标。

经欧洲专家在英国2009年4月评审,欧盟总部于2009年5月29日最终项目评审意见,给出了如下结论:这个项目是非常成功的,并且完成了所有的预期目标(The project was very successful and achieved all its goals)^[9]。

这一合作项目也为中方网格平台的改进提供了借鉴和技术支持,同时以航空应用为目标的基于服务的多学科优化系统在中欧网格平台上长期稳定运行得到了验证。

AST

参考文献

- [1] 崔德刚, 王玉娟, 钱德佩, 等. 基于网格的多学科飞机优化技术[J]. 航空制造技术, 2009(12).
- [2] Charlotte E. Whitfield NASA's quiet aircraft technology project[C]. 7th Japan International SAMPE Symposium and Exhibition (JISSE-7), Tokyo: Nov 13th- 16th, 2001.
- [3] Delphine D' hoop. Wings of Silence[J]. Research-EU, 2008-01. http://ec.europa.eu/research/research-eu/55/article_5524_en.html
- [4] Degang Cui. Optimization in Aviation [C]. Industry Application China-Germany Conference on Mathematics and Industry (CGCMI), Beijing: March 15, 2010.

[5] Stijn Donders, Roberto d' Ippolito, Herman Van der Auweraer. Uncertainty-based design in automotive and aerospace engineering[C]. SAE World Congress & Exhibition, Detroit MI USA: Jan.1, 2007.

[6] Christof Bäuerle, Clemens-August Thole and Ulrich Trottenberg DesParO: a design parameter optimization toolbox using an iterative Kriging algorithm[J]. ERCIM News. Jan 2004.

[7] Degang Cui, Yingshu Xiu. Optimization for composite wing using genetic algorithm and grid technology [C]. 24th International Congress of the Aeronautical Sciences, Yokohama: Aug 29th-Sep 3rd, 2004.

[8] Luigi Mazzucchelli, Claude Denoun. Final Review Report Version 2.0 [C]. Brussels: May 26th, 2009.

[9] Eckart Bierdämpel. Technical Description Bilateral Research and Industrial Development Enhancing and Integrating GRID Enabled Technologies[C]. Technical Description Fraunhofer Gesellschaft, Schloß Birlinghoven: Oct 2006.

[10] Holland J H. Adaptation in Nature and Artificial System [M]. The University of Michigan Press, 1975.

作者简介:

崔德刚, 研究员, 博士生导师, 主要从事飞机设计、复合材料力学分析和高性能计算研究。

张睿, 硕士研究生, 从事飞机设计的多学科优化研究。

杜海, 硕士研究生, 从事计算机辅助设计研究。

熊青岳, 硕士研究生, 从事计算机辅助设计研究。