

# 目标电磁特性协同仿真计算平台构建技术研究

刘 民,朱兴国,刘姜玲,黄飞龙

(中国电子科技集团公司电子科学研究院,北京 100041)

**摘 要:**为解决具有复杂结构超电大尺寸目标电磁特征计算的瓶颈,提出了电磁网格计算的思想以及电磁计算网格的技术内涵、体系结构和设计方案。通过融合各种电磁算法,利用下一代先进互联网和协同计算技术将高校和研究院所的大量不同类型和用途的计算资源、模型资源、算法资源和网络资源进行无缝连接、资源聚合以及计算任务的分发、调度与管理,构建电磁协同仿真计算平台,形成分布式电磁计算网络和云计算服务体系,通过多个计算节点的协同工作来完成仿真计算任务,实现广域分布资源的协同工作。该平台具有可扩展性、高可用性、高计算效率、有效调度以及强大的计算能力。最后,给出结论和下一步的工作展望。

**关键词:**目标特性;电磁计算;协同仿真;计算平台

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)07-0184-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.07.041

## Research on Construction Technique of Computing Platform of Collaborative Simulation for Electromagnetic Characteristics Target

LIU Min,ZHU Xing-guo,LIU Jiang-ling,HUANG Fei-long

(China Academy of Electronics and Information Technology,Beijing 100041,China)

**Abstract:**In order to solve the bottleneck of computation of an electrically large target electromagnetic characteristics with complex structure,put forward the connotation of electromagnetic grid computing and electromagnetic computing grid architecture and design. Through the integration of various electromagnetic algorithm,using the next generation advanced Internet and collaborative computing technology for seamless connectivity,resource aggregation and computation task distribution,scheduling and management to a number of different types and use of computing resources,model resources,algorithm resource and cyber resource from universities and research institutes,build collaborative simulation computing platform of electromagnetic,forming the distributed electromagnetic computing networks and cloud computing service system,through a number of collaborative computing nodes to complete the simulation calculation tasks and achieve collaborative work of wide area distribution of resources. The platform has the scalability,high availability,high computational efficiency,effective scheduling and powerful computation ability. Finally,the conclusion and the prospects for the next step of work are given.

**Key words:**characteristics of target;electromagnetic computing;collaborative simulation;computing platform

## 0 引 言

计算电磁学,是以电磁场理论为基础,以高性能计算技术为工具,运用计算数学的方法,解决复杂的电磁场和工程问题的学科,其实质是用数值计算方法求解 Maxwell 方程,主要应用在包括天线设计、目标特征分析和飞行器设计等领域,其计算结果对系统电磁响应的分析、优化起到指导性的作用。由于目前所需电磁计算精度不断提高,一次生成的网格数就达到了十亿

量级。因此,计算电磁学对计算资源有着非常迫切的需求<sup>[1]</sup>。

当前电磁计算的主要矛盾是无法精确求解超电大尺寸以及复杂结构隐身目标的电磁散射问题,计算精度不满足要求,计算速度无法得到保证。由于目标电磁特征所需的计算规模和结构日益扩大和复杂,迫切需要具有分布、异构和协同等性能的新型仿真计算系统和平台,支持隐身飞行器和反隐身装备的设计和综

收稿日期:2014-07-07

修回日期:2014-10-09

网络出版时间:2015-06-23

基金项目:国防 973 项目(613206);中电集团预研课题项目(10206010103)

作者简介:刘 民(1972-),男,高级工程师,研究方向为电磁计算与电磁兼容。

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150623.1005.001.html>

合优化。于是,一种以现代网络传输技术、高精度电磁算法和网格计算技术为支撑的“电磁计算网格”应运而生。电磁计算网格就是采用网格技术,将分布在各地的电磁计算所能够使用的各种计算机软硬件系统及资源整合起来,通过软件和协议形成有机互联、资源共享、协同运行的电磁计算网络<sup>[2]</sup>。

以目标电磁特征精确仿真计算的需求为背景,将精确电磁仿真计算技术和现代网络技术相结合的一种新型分布式仿真计算平台——“电磁计算网格”,综合应用各类技术——基于 IPv6 的网络设计技术、Web Service 技术、网格技术、普适计算技术、高性能超大规模分布式并行计算技术、目标电磁特性一体化建模技术、高精度电磁计算技术、平台综合管理控制技术及其应用领域有关的专业技术,实现网格中各类资源异地共享与异构重用、协同求解与互操作、动态优化调度与安全运行,进而支持目标电磁特征分析和预警探测装备的研制,支持对工程与项目进行分析论证、系统设计、加工生产、试验评估和全生命周期等活动<sup>[3-4]</sup>。

1 平台设计目标

针对复杂电子装备及其电大运载平台(如大型天线阵列与飞机平台等)的目标电磁特性难于精细高效仿真的共性问题,通过开展电磁协同计算技术研究,构

建分布式建模仿真与电磁计算平台,将各种分散的电磁计算资源进行整合实现协同仿真和计算。突破超大规模电磁精细计算协同技术,构建基于 CNGI 网络的分布式协同电磁计算平台和云计算体系,实现电磁计算领域如下目标:

- (1)核心算法(并行、协同、综合)自主可控。建立超大规模分布式并行电磁场精确数值算法体系,涵盖时域、频域(低频和高频)及各种混合电磁计算算法。
- (2)计算资源(服务器、存储器)协同应用。在电磁并行算法体系基础上,研制出国产可用于大型服务器的精确、通用电磁仿真计算系统,构建分布式综合仿真与电磁协同计算平台。
- (3)设计资源(数据、模型、算法)广域共享。利用先进的 IPv6 网络将异地异构仿真计算资源进行整合,实现资源共享和广域协同。

2 计算平台构建

2.1 平台系统体系架构

采用五层沙漏体系结构来构造电磁协同计算网格平台,分布式电磁协同计算平台体系框架图如图 1 所示。架构由上至下分为四个层次,分别为应用层、服务层、资源层和技术基础层。此外还包括网络与数据安全管理体系<sup>[5-6]</sup>。

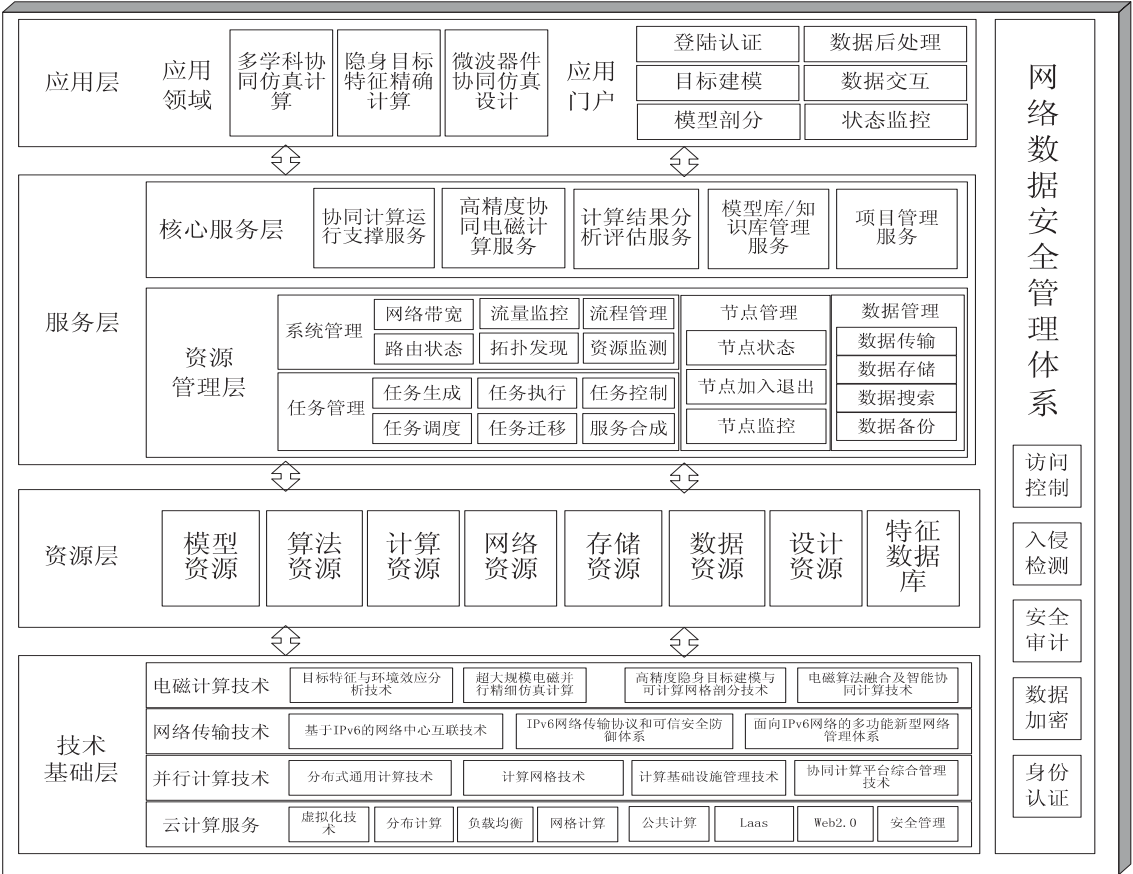


图 1 电磁协同计算平台体系框架图

### (1)应用层。

包括应用领域和应用门户。应用领域主要支持能够接入计算平台的用户安全、协同、高效地开展高数据和高密集度的科学计算,如多学科协同仿真计算,隐身目标特征精确计算和微波器件协同仿真设计等。应用门户为用户登录平台进行仿真计算提供浏览器和桌面形式的工具,包括面向应用的计算问题求解环境和计算网格协同可视化工具等。用户使用客户端工具,登录仿真网格提交计算任务,在执行过程中,用户可以通过应用门户层提供的协同可视化工具浏览作业运行状态和结果。

### (2)服务层。

包括核心服务层和资源管理层。服务层为网格环境中的仿真与计算系统提供核心服务,包括协同电磁计算服务、协同计算运行支撑服务、计算结果分析/评估服务、模型库/知识库管理服务和项目管理服务等。作用是分解和执行用户提交的计算任务,并根据计算应用的需求,实现对相应计算资源的调度运行。

### (3)资源层。

提供网格调度使用的各类资源和服务,包括电磁计算全过程相关的模型资源、算法资源、软件资源、计算资源、存储资源和各类仪器设备等。

### (4)技术基础层。

主要提供开展电磁协同仿真计算平台建设和集成服务所必要的技术支持,包括电磁计算技术、网络传输技术、并行计算技术和云计算服务技术等。

### (5)网络与数据安全管理体系。

主要为支持建立安全可信计算平台,包括访问控制、入侵检测、安全审计、数据加密和身份认证等。

## 2.2 平台应用模式

电磁计算网格的应用模式是在 IPv6 网络和数据安全管理体系的支持下:计算节点的管理者进行计算资源的部署与注册;计算用户登陆平台门户,利用门户工具描述并提交仿真计算任务,所需的计算资源会被自动地调配,并基于服务的组合方式被动态构造成计算应用系统,在运行过程中,计算网格对计算资源进行动态管理,监控计算任务状态,保证计算负载均衡和作业任务能够动态迁移<sup>[7]</sup>。

## 2.3 平台软件模块的设计

### (1)任务综合管理模块。

任务管理子系统提供数据计算平台内最高层的任务定义、调度、执行、监控等功能。为用户提供一个易用、高效的任务管理机制,用于管理用户的任务,并为用户提供了可视化的方式进行任务定义、调度、执行、监控等操作。任务管理子系统支持多种类型的任务,提供多种调度策略,以及提供任务执行的性能预测等

能力<sup>[8]</sup>。

平台任务综合管理模块主要部件包括任务生成器、任务调度器、任务执行器、监控器及文件控制器。

### (2)节点监控管理模块。

监视统计模块负责监视节点的运行状态,并完成用户使用节点情况的统计。节点监控管理模块包括节点监控模块、节点管理模块。其中节点监控模块负责收集、呈现整个计算平台软件所管理的所有分布式节点上的计算资源(物理主机、虚拟机)及其所在的软件、硬件和网络环境的各项运行时信息,以使用户和管理人员获知系统的健康状况和负载情况等。节点管理模块负责对于整个计算平台软件所管理的所有分布式节点的计算机的管理,主要包括节点运行管理、资源管理以及节点策略管理<sup>[9-10]</sup>。

### (3)计算任务调度模块。

计算任务调度模块采用 Map-Reduce 模型为基础任务调度模型,摆脱了传统网格计算中任务调度底层对于 MPI 的依赖。计算任务调度模块主要完成以下功能,包括任务的划分、调度、结果有效性检查、结果整合和文件删除等<sup>[11]</sup>。

### (4)客户端模块。

客户端主控模块运行在网格中的各个计算节点上,代表计算节点与服务器进行交互,并使用计算节点执行计算过程,因此客户端模块需要保证如下功能:多线程并发、运行规则解析、场景保持和恢复、线程池维护等。客户端模块还需要在提供强大的任务分片调度执行机制的基础上,同时保证使用的简单性。

### (5)通信模块。

通信模块主要用来在任务调度服务器与计算节点执行传送数据,包括各种数据信息、监控信息和任务执行结果等内容。为方便使用,它要具有保持连接的能力,要能以 RPC 的方式进行通信,起到连接服务器和客户端的桥梁作用,对该模块的基本要求是一定要保证比特流的顺序不可改变。

### (6)认证模块。

在系统中负责安全认证,用于防止对于任务数据的恶意访问。客户端通过该模块向服务器证明自己拥有合法身份,同时验证服务器的身份。

## 3 主要关键技术

### 3.1 复杂目标精确电磁计算技术

#### (1)目标建模与可计算网格剖分技术。

精细化几何建模以及为多种电磁计算方法提供可计算网格剖分的技术,是目标电磁仿真计算的支撑技术。目标建模需要一体化考虑目标几何结构和电磁特性,电磁特性一般考虑几何结构自身的材料特性和几



何结构表面涂敷材料等,这些也需要在目标建模时统一构建。同时利用计算机图形学领域已成熟的地表面和海平面三维建模技术,应用于目标与环境的统一建模。

## (2) 电磁算法的融合技术。

为解决当前电磁算法的几大理论难题,实现一种能够根据目标特点自动选择最优计算方法的智能计算系统,一般用户(高级用户除外)只需关心应用,不必了解算法相关参数,不必为算法选择而苦恼。

技术实施方案包括以下四个层次:

- 建立经加速的四大类主流单一算法库;
- 融合单一主流算法,作为新算法加入算法库:以单一时域算法为基础(参可行性分析);
- 测算融合:解决局部不能得到等效电磁模型的场景的电磁计算问题;
- 给定问题最优算法的自动选择机制。

## (3) 目标散射与辐射特性的高低频混合计算分析技术。

高低频混合计算方法是电大目标的电磁散射特性快速有效计算的核心技术,同时,电子装备的电磁环境评估的一个重要前提和步骤就是找出电磁辐射的路径,是其隐身特性的重要指标。高低频混合计算方法是超电大目标电子装备的辐射信道评估的有效精确方法。计算机图形学的很多技术和方法已成功应用于高频计算方法,如采用 GPU(可编程图形处理器)加速的计算仿真、基于 KD-tree 的光柱跟踪方法来快速求解电磁散射路径等<sup>[12]</sup>。

## (4) 大规模混合集群仿真计算技术。

CPU 和 GPU 混合集群计算技术充分发挥 CPU 上多核计算的处理灵活性和 GPU 上多核的强大计算能力,结合 CPU 和 GPU 各自优势,提高硬件计算资源的利用率。单台电脑上多核 CPU 可以通过 OpenMP 实现并行开发,单台电脑 GPU 上的通用计算采用 NVIDIA 的统一设备架构 CUDA(Compute Unified Device Architecture),多台电脑之间通过 MPI 实现数据传输和同步控制。

## 3.2 系统资源管理技术

系统资源管理控制技术涉及到四个方面的内容:资源计划与规划、资源管理与组织、资源运行与控制、资源统计与分析。它们之间的关系如图 2 所示。而综合管理控制的一个更为基础的内容是资源描述的方法。拟采取基于语义的资源描述方法,借助语义 Web 的研究成果,以 OWL-S 为基础,并加以扩展,使其描述适合于服务化的资源使用环境和更加贴近用户的个性化需求。将综合管理控制技术划分为如下四个相互作用但又无交叉的部分,分别进行研究。并研究此四

部分如何相互作用而形成一个有机整体,共同形成综合管控技术体制<sup>[13-14]</sup>。

### (1) 统一资源计划和规划。

采用对比的方法,分别对系统中的资源采用局部计划和规划,以及采用全局统一的资源计划和规划方法。比较前后两种方式下,系统资源瓶颈出现率,系统资源浪费程度等具体参数。

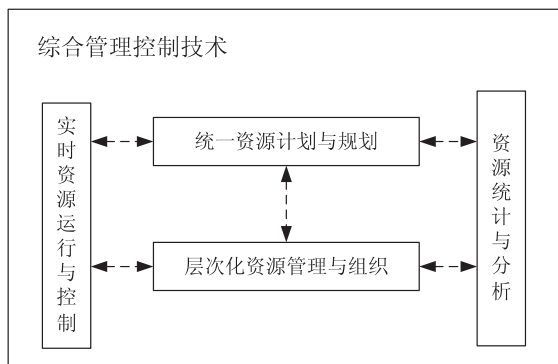


图2 综合管理控制技术

### (2) 层次化资源管理和组织。

将采用分层的资源管理与组织方法与未分层的资源组织与管理方法进行比较。分析系统资源管理和组织的效率是否得到了有效的提高<sup>[15]</sup>。

### (3) 实时的资源运行和控制。

掌握资源实时监控技术,在此基础上形成全局资源视图。针对该视图,实施资源使用计划和面向任务的运行和控制。

### (4) 资源统计和分析。

使用 AOP 的方法,在资源的使用者察觉不到的情况下,对资源的使用状况进行统计和分析。这种统计和分析对于资源用户是透明化的。将系统资源统计与分析的结果,结合技术指标进行动态、静态性能指标以发现资源部署和运行的问题,反映系统运行状况,用于支撑对于资源的规划、管理、运行控制等方面的决策过程<sup>[16]</sup>。

## 3.3 计算任务优化调度

资源调度策略就是根据网络计算任务情况而实施的资源分配,根据网络环境和计算任务特点可以采用静态和动态两种调度策略。对于目标特征仿真来说,模型各个分割结构的散射不是独立的,都需要根据结构的几何尺寸、相互作用关系和目标信息等完成计算,因此可以把结构模型进行任务分解,并将分割模型和互耦参数分发到各个计算节点。若计算未知量较少,可以在计算前根据计算资源的配置信息和负载信息一次性进行任务分配,这样的静态调度策略可以节省细粒度任务分配中的通信开销和多次调度开销,提高仿真效率。当计算任务剖分网格数和未知量庞大,则采用动态调度策略,在整个计算过程中对各计算节点进

行检测,随时调整计算资源的分配<sup>[17]</sup>。

### 3.4 网络和数据安全技术

电磁协同计算平台的安全策略主要包括身份验证、密钥管理、数据加密、认证和访问控制等几个部分。

### 3.5 云计算服务技术

电科院在云计算技术上积累了丰富经验,包括搭建以 Google 公司开发的 GFS(Google File System)文件存储系统为原型的 HDFS(Hadoop File System)的云计算平台,进行数据分布式存储试验,基于电磁数据特性进行相关改造;基于 Map-Reduce 计算框架进行气象数据应用试验,根据大量历年气象日志数据,进行数据预处理、计算,最后统计各种条件下的气象状况;开发一套面向 RDBMS 异构数据库联合查询软件,提供异构数据库数据搜索服务。针对复杂应用环境中的需求特性,开展研制高可扩展、高可靠、支持跨域资源共享的分布式数据存储和云计算平台,支持并行数据汇聚、多源数据查询、多维数据检索、高效产品分发的高性能数据服务,解决广域环境下异构数据查询以及对外部用户和系统的交互。

## 4 结束语

基于大规模分布式并行电磁精确计算技术、分布式计算和虚拟化的体系结构设计技术、基于 IPv6 技术的网络设计技术和计算平台综合管理控制技术,通过对电磁协同计算平台进行设计,构建分布式电磁计算网格,对异地异构的计算资源进行动态、柔性和安全共享,满足对大规模高性能计算的要求。因此应用网格进行高数据量的隐身目标电磁计算,无疑是经济、高效和安全的,从最终效果来看基本实现了对同一隐身目标计算任务的异地协同计算,提高了目标电磁计算的精度和计算效率。

下一阶段将重点研究智能电磁算法融合、大容量网络通信以及云计算服务体系等,以使该平台的规模和功能进一步扩展,能够安全可信地协同运行,并可实现对复杂超电大尺寸隐身目标特征的精确快速求解,以支撑未来反隐身装备的设计研制和部署。

### 参考文献:

- [1] 王秉中. 计算电磁学[M]. 北京:科学出版社,2002.
- [2] 洪伟. 计算电磁学研究进展[J]. 东南大学学报:自然科学版,2002,32(3):335-339.
- [3] 都志辉,陈渝,刘鹏. 网格计算[M]. 北京:清华大学出版社,2002.
- [4] 徐志伟,冯百明,李伟著. 网格计算技术[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [5] 程贯中,林东岱,张珍. 分布式密码计算平台的架构设计及其实现[J]. 中国科学院研究生院学报,2004,21(2):218-226.
- [6] 章勤,鄢娟,金海,等. 昊宇网络计算平台体系结构研究[J]. 计算机研究与发展,2003,40(12):1725-1730.
- [7] Foster I. The grid: a new infrastructure for 21st century science[J]. Physics Today,2002,55(2):27-42.
- [8] Ahmad I, Dhodhi M K. Multi-processor scheduling in a genetic paradigm[J]. Parallel Computing,1996,22(3):395-406.
- [9] 李伯虎. 一种新型的分布协同仿真系统——“仿真网格”[J]. 系统仿真学报,2008,20(20):5423-5430.
- [10] 刘天胜,袁斌,李铭. 一种分布式电磁计算仿真平台的设计与实现[J]. 计算机仿真,2008,25(9):280-283.
- [11] 吉笑峰,王和平. 基于网格计算的飞机气动与隐身综合优化设计[J]. 科学技术与工程,2008,8(11):2889-2992.
- [12] 王彬. 计算作业网格执行环境的分析、设计与应用[J]. 计算机应用研究,2008,25(8):2546-2549.
- [13] 王彬,宗翔,魏敏. 一个精细粒度实时计算资源管理系统[J]. 应用气象学报,2008,19(4):507-512.
- [14] 邹德清,金海,吴松,等. 面向网格的协作式网络计算平台[J]. 计算机学报,2004,27(12):1617-1625.
- [15] Martinelli F, Mori P, Vaccarelli A. Towards continuous usage control on grid computational services[C]//Proc of the joint international conference on autonomic and autonomous systems and international conference on networking and services. [s. l.]:[s. n.],2005:82-89.
- [16] 王彬,许卓群. 网格环境下的作业运行支持系统分析[J]. 计算机应用研究,2007,24(2):106-109.
- [17] Foster I, Kesselman C, Tuecke S. The anatomy of the grid: enabling scalable virtual organizations[J]. International Journal of Supercomputer Applications,2001,15(3):200-222.

# 目标电磁特性协同仿真计算平台构建技术研究

作者：[刘民](#)，[朱兴国](#)，[刘姜玲](#)，[黄飞龙](#)，[LIU Min](#)，[ZHU Xing-guo](#)，[LIU Jiang-ling](#)，[HUANG Fei-long](#)  
作者单位：[中国电子科技集团公司电子科学研究院, 北京, 100041](#)  
刊名：[计算机技术与发展](#)  
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)  
年，卷(期)：2015(7)

引用本文格式：[刘民](#).[朱兴国](#).[刘姜玲](#).[黄飞龙](#).[LIU Min](#).[ZHU Xing-guo](#).[LIU Jiang-ling](#).[HUANG Fei-long](#) [目标电磁特性协同仿真计算平台构建技术研究](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(7)