

空间科学与探测任务论证仿真系统的设计与实现

宋 凭^{1,2} 张仲敏² 刘 波^{1,3} 孟 新³

(中国科学院西安光学精密机械研究所 西安 710068)¹

(西安通信学院 西安 710106)² (中国科学院空间科学与应用研究中心 北京 100080)³

摘 要 分析了空间科学与探测任务论证支持系统(SSDRSS)的功能和仿真需求,实现了可扩展的仿真系统体系结构设计。基于高层体系结构(HLA)的仿真实现采用了灵活的成员接口设计和合理的联邦成员划分,降低了扩展系统和开发新成员的复杂度。将该仿真系统的设计应用于双星科学任务论证中,实现了论证过程和设计结果的分布式仿真和仿真结果的对比分析,验证了设计的可行性。

关键词 SSDRSS, 分布式仿真, 体系结构, 基于高层体系结构

中图法分类号 TP391.9 **文献标识码** A

Design and Realization of Space Science Demonstrate Research Simulation System

SONG Ping^{1,2} ZHANG Zhong-min² LIU Bo^{1,3} MENG Xin³

(Xi'an Institute of Optics & Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710068, China)¹

(Xi'an Communications Institute, Xi'an 710106, China)²

(Center for Space Science and Applide Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)³

Abstract The function and simulation requirement of Space Science Demonstrate Research Support System (SSDRSS) were analyzed. The design of the extendable architecture of simulation system was realized. The flexible design of federate interface and the logical partition of federates were adopted by the simulation realization based on the High Level Architecture (HLA). The complexity of extending system and developing new federates was reduced. The design of this simulation system was applied in the demonstration research of the double star programme. The distributed simulation of demonstration process and design result, and the contrastive analyse of simulation results were realized. The feasibility of the design was validated.

Keywords SSDRSS, Distributed simulation, Architecture, HLA

空间科学与探测任务论证研究是从技术上、工程上和经济角度评估和确定空间任务的可行性。传统的分散式论证方法,无法使系统各学科专家对系统总体和各自的设计改进及时把握和协调,使得协调组织困难并导致论证周期很长。SSDRSS的建立正是瞄准国家重大战略需求和科学技术前沿,用集同工程概念和方法,进行空间科学和空间探测任务的论证、立项、评估研究。它允许不同学科的专家应用集同工程方法来设计未来的空间任务,并推动有关的所有学科快速有效地交互,确保在很短的时间内得到一致的、高质量的结果。该系统的建成,将大大缩短空间任务论证周期并提升论证的质量。

然而,SSDRSS仿真系统设计的合理性将直接关系到未来系统的扩展和对新任务论证的快速支持。基于HLA/RTI的开放式仿真体系结构设计将很好地解决分布式协同仿真的需求,如何根据SSDRSS的功能和特点,构建适合SSDRSS发展的仿真系统成为我们研究的重点。本文着重论述了SSDRSS中基于HLA/RTI的仿真系统体系结构设计和实现方案,并在此基础上实现了双星科学任务论证过程不同精度要

求的分布式仿真与广阔空间虚拟三维场景的生成,进一步验证了该仿真系统设计的合理性与可行性。

1 SSDRSS 分析

1.1 SSDRSS 的功能

SSDRSS是一个分布式集同论证支持系统,它使科学家、用户和航天工程技术人员并行分析、设计、论证和完善空间任务的技术方案,改变目前空间科学与探测任务设计的现状。通过在空间任务、轨道、姿态、测控与通信、能源、运载和发射等方面展开协同设计与分析,以缩短方案设计的时间,提高方案设计的可行性,提高工作效率。充分利用集同设施提供的集同设计与分析平台,使各分系统与用户更好地相互理解并达成共识,尽快消除设计冲突,得到满足用户要求的0级/A级空间任务设计与论证分析结果。

SSDRSS主要用来支持新的空间科学和空间探测任务技术和成本的可行性论证、立项论证的分析和评估。其主要功能包括:支持新的空间科学任务的任务分析;支持新的空间科学任务的系统分析;对有效载荷的确定和主要参数的选择;支

持空间系统方案的权衡和选择评估;支持系统级或任务级的新技术确认等。它是面向分布式协同设计、集成了工具、工程数据、任务和系统模型并以模型为驱动的在线实时设计的协作、交互式系统,其硬件和软件结构如图1和图2所示。

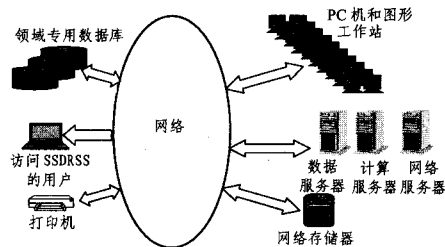


图1 SSDRSS 硬件结构图

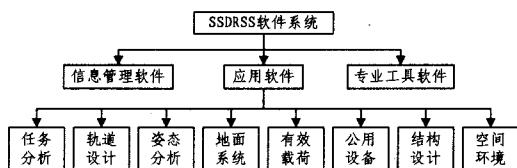


图2 SSDRSS 软件结构图

1.2 SSDRSS 的仿真需求

SSDRSS 仿真系统主要实现对空间任务论证过程与各阶段设计结果的分布式仿真,其主要功能需求如下:

- 1) 仿真实现空间科学任务的发射段、入轨段、运行段、任务末期卫星的飞行过程,给出卫星轨道/姿态演变趋势;
- 2) 对星间和星地通信链路进行仿真,计算链路的实时通信误码率数据并合理表达;
- 3) 实现有效载荷天线对观测区域的覆盖和卫星过地面站的覆盖等情况的仿真;
- 4) 对空间环境进行仿真建模,建立空间坐标系转换体系,通过对空间磁场环境数据、以及太阳系行星星历等数据的计算实现卫星穿越空间辐射环境、进出阴影等情况的仿真,探索空间环境的表达方式;
- 5) 根据需求将仿真数据以二维或三维方式进行可视化显示的同时,以三通道的方式进行广阔视景输出;
- 6) 通过对 HLA/RTI 的扩展实现仿真系统的灵活管理和运行控制;
- 7) 良好的用户界面,方便用户操作,实现对仿真过程的灵活配置和选择性记录。

2 仿真系统体系结构

为了满足 SSDRSS 的仿真需求,并减少不同任务论证过程仿真开发联邦成员的复杂度,需要建立一个开放的、可扩展的仿真体系结构。以下将结合空间科学与探测任务论证仿真系统的功能和结构特点,从系统设计目标和系统体系结构两个方面来阐述系统的设计思路。

2.1 系统设计目标

为了满足多次不同任务论证过程的仿真需求,系统要达到以下主要设计目标:

- 1) 系统可扩展:建立可扩展的仿真体系结构,使用高度结构化、图形方式开发仿真模型以实现模型的扩展和重用,采用灵活的内外接口设计以方便地将来自不同空间仿真系统的仿

真单元扩展成为新的空间科学任务仿真系统,实现新的仿真应用。

- 2) 灵活的人机交互:通过友好的仿真管理控制界面设计,实现用户对仿真全程的直观方便的可视化指挥控制和系统运行情况的显示;利用多通道融合技术,提供逼真的广阔空间场景,提高人机交互的自然性。

- 3) 多尺度仿真:不仅能够实现空间科学任务全程的超实时仿真,展现空间科学任务的全寿命周期,还能够根据用户需求对重点事件或重要时刻进行高分辨率仿真,以满足相关的科学目标。

2.2 系统体系结构

空间科学与探测任务论证仿真系统的建设和运行是一个持续的过程,需要根据具体的论证任务不断地完善系统的各种模型和处理工具。因此该仿真系统的使用包括两个阶段:系统构造阶段和系统运行阶段。系统构造阶段为仿真运行提供各种模型素材,系统运行阶段通过构造阶段提供的模型进行任务仿真。可以认为在构造阶段,系统体现的是一个静态的过程,主要完成对不同类型的数据及模型进行研究、实现,并导入系统。而系统运行阶段,则需要按照规则,完成输入、仿真推演、输出这样一个动态的过程,最终得出推演结论。系统的体系结构设计如图3所示。

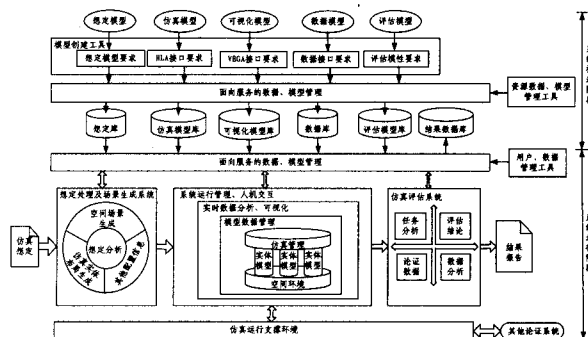


图3 仿真系统体系结构图

3 仿真系统的实现

3.1 联邦成员设计

针对仿真系统的设计目标,在系统体系结构设计的基础上,建立一个基于 HLA/RTI 和通信网络的仿真实现,主要包括以下9类联邦成员,如图4所示。

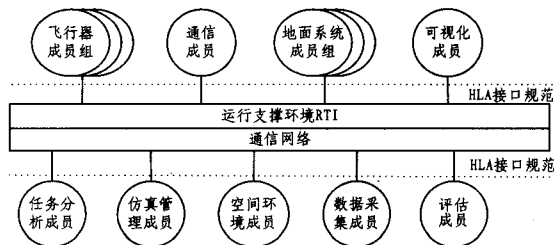


图4 联邦成员设计

- 1) 任务分析成员:根据仿真想定分析任务目标,分解执行过程,规划任务流程,生成相应的配置信息,为仿真系统中的各个单元制定运行方案等。

- 2) 仿真管理成员:是系统的核心管理模块,根据仿真目标和用户需求,完成系统资源的加载和系统初始化配置;实现仿真全程的推进控制、同步控制、分辨率控制等运行管控;对系

统运行模式和网络资源占用情况进行维护;对演示内容进行控制等。

3) 飞行器成员组:包括卫星、运载等飞行器成员。在仿真准备阶段,对飞行器相关设计参数进行配置;在仿真过程中,接收其他仿真成员发送的数据,计算卫星的空间位置和姿态参数,模拟有效载荷状态等。

4) 通信成员:对整个空间通信链路进行仿真,计算空间通信网连通情况;转发通信数据;计算任一通信链路的传输速率和误码率数据等。

5) 空间环境成员:对空间环境进行仿真计算,根据用户的需求计算空间磁场环境数据,空间高能电子数据、地球辐射带数据以及太阳系行星星历数据等;实现空间各个星球及其环境的配置;计算星球在当前仿真时间的空间位置和环境数据;计算探测区域内的环境数据等。

6) 地面系统成员组:包括遥测、遥控、测控和通信等各类地面站成员和地面数据处理系统成员等。在仿真准备阶段,用户需要对地面系统的参数进行配置;在仿真过程中模拟实际地面站状态,包括计算移动地面站的轨迹;与卫星或其他地面站进行交互;接收并显示通信网发送的星地链路状态信息;记录并存储下行数据等。

7) 数据采集成员:对仿真过程中的交互数据以及各成员自己记录的私有数据进行收集记录,标准化存储;为评估分析提供数据支持;实现不同数据库间数据的协同和调度。

8) 可视化成员:对分布式仿真的输出结果进行可视化显示。实现空间坐标系及其之间的转换以及视点的各种转换;绘制太阳系行星运行场景、卫星运行场景以及空间各类星体的运行轨道;实现数据传输效果、空间磁场环境渲染效果的展示以及可视化的三通道输出等。

9) 评估成员:依据评估指标体系和评估模型,对仿真收集的数据进行分析处理,以期实现论证过程的实时在线评估,以及论证结果的可行性分析评估。

3.2 内部接口设计

图5是系统内部接口关系图。

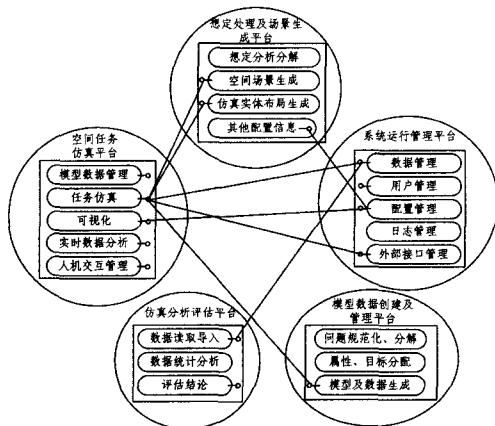


图5 系统内部接口关系图

1) 模型及数据资源接口

为了提高系统的开放性和可扩展性,空间科学与探测任务论证仿真系统采用“平台+插件”的软件结构实现模型及数据资源,模型一般以插件的形式存在。同时为了使数据资源在系统中正确地使用,数据资源也需要以规范的形式存在。因

此,模型及数据资源接口是系统首先要确定的内部接口之一。

模型及数据资源接口用于模型创建及管理平台、任务仿真平台之间。其中模型创建及管理平台相当于模型和数据资源的生产者,任务仿真平台相当于数据模型的使用者。模型及数据资源接口应包含以下内容:标识、名称、功能、类型、版本及创建时间、输入数据、输出数据、使用方式、使用条件和约束。

2) 仿真输出数据格式接口

仿真输出数据类型复杂并且数据量巨大,这些数据是进行后续仿真分析和评估的基础,需要明确仿真输出数据格式接口。

仿真输出数据格式接口存在于空间任务仿真平台、仿真分析评估平台、系统运行管理平台。仿真输出数据中应明确数据的初始条件、数据生产者、产生时间、关联的数据等信息,以便于对数据的分析。仿真输出数据格式接口包括以下内容:仿真工程标识、数据名称、生产者、数据的起止时间、数据存储格式。

3) 配置信息接口

配置信息用于系统的初始化设置。配置信息包括两类:一个是系统软件的配置信息,另一个是空间初始场景的配置信息。系统软件配置信息主要指各种仿真单元、仿真模型的使用配置,它们由系统运行管理平台创建,作用于任务仿真平台。空间场景配置信息由想定处理及场景生成平台创建,也是由任务仿真平台使用。

系统软件配置信息接口包括以下内容:仿真单元、仿真引擎标识、模型标识、数据资源标识。

空间场景配置信息接口包括以下内容:空间环境配置信息、仿真实体配置信息、其他配置信息。

3.3 实现

基于以上的仿真设计,实现了双星科学任务全程的仿真,并对卫星伸杆展开、卫星过辐射带、星地数据通信误码率变化等重点事件进行了细节仿真与可视化。其仿真运行过程中成员间的数据交互关系如图6所示。

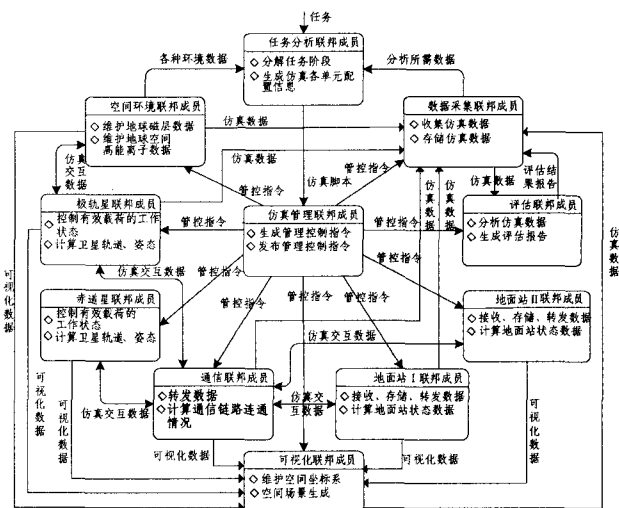


图6 双星科学任务仿真数据交互关系图

系统根据仿真任务输入、空间环境成员和数据采集成员的数据支持,经过任务分析成员进行任务分析分解并生成仿

(下转第260页)

从实验结果可以看出,KDA/GSVD与SVM相结合的方法,其识别率达到了100%,明显高于表中其它的方法。原因可分析如下:主元分析的目标是寻找在最小均方差意义下最能够代表原始数据的投影方法,它以所有样本的最优重建为目的,计算过程中去掉了对信号表示无用的信息,但这些信息对信号分类则可能是有用的,因此PCA对于分类并不是最优的;外耳形状特征和内耳结构特征是一种基于几何特征的识别方法,准确地检测、定位特征点以及合理地提取特征向量是这类方法需要仔细研究的问题;本文方法比LDA/GSVD+NN(最近邻分类器)和PCA+LDA(Fisherfaces)的识别率略高,因为人耳识别是一个非线性问题,核函数的引入使识别率得到了进一步的提高。

实验证明本文提出的KDA/GSVD+SVM是一种非常有效的人耳识别方法,具有广阔的应用前景。

参 考 文 献

- [1] 钟路,潘昊,封筠,等.模式识别[M].武汉:武汉大学出版社,2006
- [2] Heisele B, Ho P, Wu J, et al. Face recognition: component based versus global approaches. Comput Vision Image Understanding, 2003, 91:6
- [3] Speiser J M, Van Loan C F. Signal processing computations using the generalized singular value decomposition//Proc. SPIE.

Vol. 495, Real Time Signal Processing VII, 1984; 47-55

- [4] Van Loan C F, Speiser J M. Computation of the CS Decomposition with Applications to Signal Processing//Proc. SPIE. Vol. 696, Advanced Signal Processing Algorithms and Architectures, 1986
- [5] Van Loan C F. Generalizing the Singular Value Decomposition. SIAM J. Numerical Analysis, 1976, 13(1): 76-83
- [6] Paige C C, Saunders M A. Towards a Generalized Singular Value Decomposition. SIAM J. Numerical Analysis, 1981, 18(3): 398-405
- [7] Howland P, Park H. Generalizing Discriminant Analysis Using the Generalized Singular Value Decomposition. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(8)
- [8] Park C H, Park H. Nonlinear Discriminant Analysis Using Kernel Functions and the Generalized Singular Value Decomposition. SIAM J. Matrix Anal. & Appl., 2005, 27: 87
- [9] Boser B E, Guyon I, Vapnik V. A training algorithm for optimal margin classifiers//Proceedings of the Fifth Annual Workshop on Computational Learning Theory. ACM Press, 1992: 144-152
- [10] 袁立,穆志纯,刘磊明.基于核主元分析法和支撑向量机的人耳识别.北京科技大学学报[J],2006(9)
- [11] Mu Z C, Yuan L, Xu Z G. Shape and structural feature based ear recognition. Advances in Biometric Person Authentication, Guangzhou, 2004: 66

(上接第250页)

真脚本,提供给仿真管理成员。由仿真管理成员将脚本文件转换为各仿真单元的配置信息,发送到其它联邦成员,实现系统的初始化、空间场景的生成和相关资源的加载。仿真过程中,极轨星成员和赤道星成员通过通信成员与地面系统进行数据交互,同时控制载荷工作状况和计算平台的相关状态数据。各成员协同完成卫星过地球辐射带的相关空间科学探测任务仿真和数据上下行仿真,并能根据需求改变仿真精度,实现卫星伸杆打开、太阳帆板展开、过阴影和数据上下行等平台 and 载荷工作情况的高精度仿真。可视化成员订购相关数据进行三维和二维显示,为论证人员提供广阔的空间环境、卫星运行状态和轨迹、地面系统状态等三维画面和三维图表。数据采集成员通过订购其它所有仿真成员的相关数据实时地收集仿真数据,实现数据的标准化存储,为分析评估和后续的任务分析提供数据支持。评估成员根据用户需要读取数据库中的仿真信息进行分析评估,为论证人员改进和完善任务设计提供参考。

系统主要仿真单元的交互界面如图7所示。

结束语 本文通过对空间科学任务仿真系统的开放式体系结构设计,建立了基于HLA/RTI的可扩展的仿真平台,并实现了双星科学任务的不同细节程度仿真,通过仿真对双星科学任务的可行性以及SSDRSS对科学任务论证的促进作用做出了正确评估。在此基础上对仿真系统进行少量的扩展和修改,就能够满足我们正在进行的火星探测任务仿真的需要。实验证明,该仿真系统能够满足空间科学与探测任务论证的需要,具有很好的实用价值和可扩展性,为今后的空间科学任务仿真系统开发提供了借鉴作用。

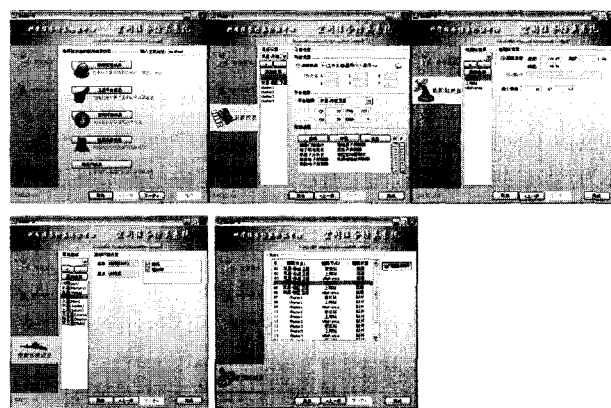


图7 主要仿真单元实现界面

参 考 文 献

- [1] 周彦,戴剑伟,等. HLA 仿真程序设计[M]. 北京:电子工业出版社,2002
- [2] 黄晓冬,何友,徐俊艳. 一种基于HLA的弹性软件框架及其应用[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(1): 95-99
- [3] 马贤颖,李学军,陈晓娟. 大区域虚拟战场环境中仿真平台的设计[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(1): 76-84
- [4] Argltello L, Mir6 J. Distributed Interactive Simulation for Space Projects [J]. European Space Agency Bulletin (S0376-4265), 2000(102): 125-130
- [5] U. S. Department of Defense. High Level Architecture Object Model Template Specification Version 1.3[S]. 1998