

Li Xuzhi, Liu Yurong, Wang Hongfei, Hei Baoqin. Research on ground system for space science satellite of microgravity experiments. *Chin. J. Space Sci.*, 2009, **29**(1): 93~97

空间科学实验地面支持系统平台

李绪志 刘玉荣 王红飞 黑保琴

(中国科学院光电研究院 北京 100190)

摘要 相对于其他空间任务,空间科学实验具有用户分散、实验进程控制(遥科学实验)要求实时或准实时、多种类型空间科学数据处理要求等特点.针对空间科学实验的特点和对地面支持系统的要求,结合实践八号卫星(SJ-8)、探测双星(TC-1, TC-2)和神舟系列飞船(SZ)的空间科学实验地面支持系统的任务完成情况,以及未来空间科学实验任务的需求,提出了地面支持系统平台的构架设想.该系统平台支持空间科学实验的状态监视与控制,支持遥科学实验,能够支持空间科学实验数据标准产品的定制处理,满足空间科学实验多任务的要求,具有通用性和可扩展性.

关键词 空间科学;地面支持系统;遥科学

中图法分类号 V 524

Research on Ground System for Space Science Satellite of Microgravity Experiments

LI Xuzhi LIU Yurong WANG Hongfei HEI Baoqin

(Academy of Opto-Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190)

Abstract Relative to other space missions, space microgravity experiments have such characteristics as dispersed users, real-time or near real-time process control requirement in experiments, a variety of processing requirements for space scientific data, etc. A framework assumption of ground system platform is proposed, according to the characteristics of space scientific experiments and the requirements for its ground support system, considering some finished ground support systems for space scientific experiments such as Shijian-8 satellite, Double Star and Shenzhou spacecrafts and the requirements of space scientific experiments in the future. This system platform supports status monitoring and control of space scientific experiments, telescience experiments and customizing standard data product. It can meet the need of multi-task in space scientific experiments with commonality and extensibility.

Key words Space science satellite, Ground system, Telescience

1 引言

作为未来空间科学发展的重大目标之一, 中国将发射空间科学实验卫星, 进行微重力科学和空间生命科学的实验研究.

空间微重力科学实验需要在实验过程中根据现场 (遥现场) 情况, 随时调整实验参数 (遥操作, 如同在地面实验室一样). 越来越多的科学家希望能够利用遥科学进行空间科学实验. 为了满足用户的要求, 空间微重力科学实验需要天基和地基的技术支持系统, 才能实施科学家设计的各项科学实验, 获取有效的科学实验数据并实现预定科学目标. 在 SJ-5, SJ-8 和 SZ 系列飞船的空间科学实验任务中, 建立了卫星控制中心和有效载荷中心的地面支持系统模式. 该模式对科学数据的实时获取与实验状态监视、科学实验数据的标准化处理和遥现场等进行了很好的支持, 取得了阶段性成果. 针对空间科学实验对地面支持系统的实际需求, 本文提出了建设具有通用性和可扩展性的空间科学实验地面支持系统平台的思想. 该平台具备对空间科学实验状态进行监视与控制的能力, 能够支持遥科学实验, 及空间科学实验数据标准产品的定制处理, 并满足空间科学实验多任务的需求.

2 相关工作

2.1 载人航天一期工程

神舟飞船目前是我国最大的空间科学应用实验平台, 开展了多学科、大规模和前沿性的地球科学、微重力科学实验和空间探测研究. “有效载荷应用中心” 是中国第一个面向空间有效载荷任务的地面支持系统. 该系统支持空间微重力流体物理实验和空间晶体生长实验, 通过飞船上安装的在轨通用流体实验装置和晶体生长观察装置, 当飞船过境时将实验观测装置采集到的图像下传, 地面采用遥技术和动态的图形图像处理技术将飞船上的试验进程清晰呈现, 可以依据空间科学实验图像判断空间实验进程, 开展天地对比实验. 依据对比实验结果在后续圈次择机上行指令, 改变工作模式或实验参数, 实现了初级的遥科学实验.

2.2 地球空间双星探测计划

在与欧空局 (ESA) 合作的地球空间双星探

测计划中, 有效载荷应用中心首次实现了中国与国际先进航天机构地面系统的联合协同运行. 在 TC-1 和 TC-2 卫星的业务运行管理上实现了从提出有效载荷指令需求到指令生成、判读、预演的自动进行, 采用自主研发的测试操作语言在中国首次实现了通过西安卫星测控中心进行指令透明发送的工作模式. 其工作流程如下: 根据载荷操作计划发送上行指令 (由西安卫星测控中心透明转发), 并实时接收西安卫星测控中心发送的遥测数据, 同时实时接收由北京密云数据接收站接收并转发的数传科学数据, 有效载荷运控操作人员或科学家依据遥测数据和数传数据进行判读, 并根据情况及时调整下一条指令. 整个运控过程实现了大系统闭环的遥操作, 从发出指令到地面看到执行结果并调整下一条指令的延迟可以达到分钟量级. 由于探测双星是高轨卫星, 其测控时间长, 因此可以采用这种新的工作模式.

2.3 SJ-8任务

SJ-8 卫星搭载了空间微重力科学实验项目. 该卫星的科学数据由北京密云地面站接收并通过微波中继链路实时发送到运控中心, 运控中心将下传的压缩视频图像进行解压缩, 恢复实验现场图像 (遥现场), 科学家通过分析图像, 决定下一步实验计划和参数调整, 并通过西安卫星测控中心上行指令. 在 SJ-8 号任务中, 地面任务支持系统初步实现了遥现场, 为下一步开展遥科学实验奠定了基础.

3 问题与解决途径

目前已开展的空间遥科学实验取得了初步的成果, 但还存在很多不足. 空间科学实验卫星一般为近地卫星, 测控时段短, 由于目前通过地面站网 (数据接收站和测控站) 直接进行数据接收 (卫星遥测、数传科学数据) 和指令上行, 卫星只有在过地面站信号覆盖区时才可以进行测控和数据接收, 从而导致进行遥科学实验的时间非常有限, 并直接影响到遥科学实验进程控制的实时性和连续性. 另外, 中国的测控管理体制不允许用户从用户中心直接发送指令进行实时控制操作, 使得遥操作实验支持面临很大的困难.

针对测控、接收时段太短的问题, 中国已计划发射数据中继卫星, 利用中继卫星进行测控和

数据接收,一般三颗中继卫星的测控范围可以覆盖全球.只要在测控计划中安排出一段时间,即可开展遥科学实验.

针对测控工作机制的问题,结合中国测控体制的实际情况,可以考虑采用由卫星测控中心准实时透明转发的方式进行闭环控制.这种解决方案已经在探测双星的运控实践中进行了有效的探索,具有良好的可操作性和可行性,可以满足空间科学实验地面任务支持的需求.

4 系统方案设计

空间科学实验相对于其他空间任务具有用户分散、实时或准实时的实验进程控制(遥科学实验)要求、多种空间数据的处理要求等特点.针对空间科学实验的特点和对地面支持系统的要求,结合已有空间科学实验地面支持系统的任务完成情况,以及未来空间科学实验任务的需求,提出了一个地面支持系统平台的设计方案.该系统平台能够支持空间科学实验的状态监视与控制,支持遥科学实验和天地对比实验,支持空间科学实验

数据标准产品的定制处理,并满足空间科学实验多任务的要求,具有通用性和可扩展性.

4.1 功能设计

空间科学实验地面支持系统平台包括数据接收系统、有效载荷运控管理系统和科学数据预处理系统三大部分(见图1).

数据接收系统是指卫星地面数据接收站,主要负责卫星数传发射机信号的接收、解调,记录接收到的数据并实时或近实时地向有效载荷业务运控管理系统传输.

有效载荷业务运控管理系统负责实施有效载荷的在轨业务运行管理,保证卫星和有效载荷按照有效载荷科学用户的需要正常地在轨运行,并负责与卫星测控中心、中继卫星中心、科学用户、地面站和数据预处理系统的接口.主要工作内容包括接收地面站收到的数据或中继卫星中心转发的下行科学实验数据、接收遥测数据、数据实时处理、载荷状态监视、轨道计算与预报、运控计划制定与预演、遥科学支持、向卫星测控中心或中继卫星中心发送指令申请、地面站调度、任务数据分析和有效载荷故障诊断与故障处理方案实施工作.

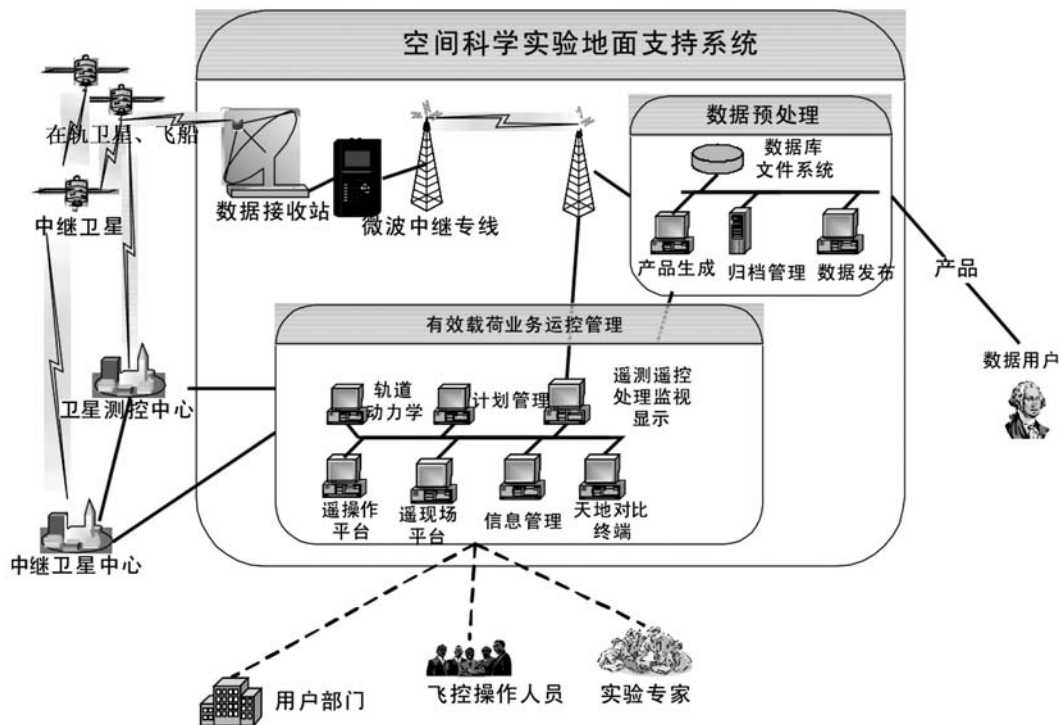


图1 空间科学实验地面支持系统平台

Fig.1 Ground system for space science

科学数据预处理系统负责对下行的工程遥测数据和对科学数据进行预处理, 对所有的下行数据及产品进行存储和归档管理, 并提供数据服务. 主要工作内容包括数据获取、数据预处理、数据产品生成、数据的存储管理、数据备份和恢复、产品查询检索与分发及用户服务等内容.

4.2 对遥科学的支持

遥科学实验由一个天地大系统组成, 需要有效载荷综合操作控制的支持, 需要遥科学实验数据处理、任务数据监视显示功能和遥科学实验辅助计划管理功能, 同时还需要具备遥现场和遥操作的功能. 有效载荷应用中心通过建立遥科学支持系统, 利用业务运控管理系统有效载荷综合操作控制模块的核心功能, 配合在轨飞行器载荷完成初步遥科学实验.

遥科学实验大系统组成如图 2 所示, 在轨运行模式下运控流程包括, 飞控决策组将在轨运行实验的总体部署分发给用户、载荷工程师和有效载荷运行管理控制系统.

用户以及载荷工程师根据应用需求和在轨运行实验的总体部署向运控系统提交载荷实验申请、用户观测申请、遥科学实验申请以及有效载荷计划申请等实验请求.

运控系统综合处理用户和有效载荷的计划申

请, 生成业务运控计划, 将业务运控指令或指令申请发送到卫星测控部门进行上行; 提供遥科学实验技术支持环境, 实现遥科学实验的遥操作和遥现场; 接收飞行器工程遥测数据和数传数据并发送给科学与用户服务系统进行处理和产品生成, 根据业务运控计划和载荷数据实时监测载荷工作状态, 一旦发现异常现象实时向运控管理人员报警, 及时处理; 将任务调度单发送到数据接收子系统和科学数据子系统.

对遥科学支持的处理流程主要包括遥现场的实现、遥操作的处理和对天地对比实验的支持. 对于遥现场, 遥科学实验的下行数据包括视频信息与工程遥测数据, 对视频信息实时进行解压缩, 处理并显示遥科学实验的状态和现象. 显示内容包括实验装置、实验现象及控制面板等. 为使载荷专家与实验的交互更加有效, 应采用虚拟现实的呈现技术, 将真实场景同虚拟场景进行匹配, 提高用户的视觉体验. 同时, 将下行的实验设备的遥测数据以及分析结果也以可视化的方式叠加显示于屏幕, 以便于用户查看. 对于遥操作, 在实现遥现场的基础上, 通过开发相应的遥操作虚拟实验装置远程操作控制软件, 使专家通过软件虚拟控制面板上的按钮 (表盘) 或其他虚拟装置进行直观的操作控制, 后台软件将科学家的操作动作转化为

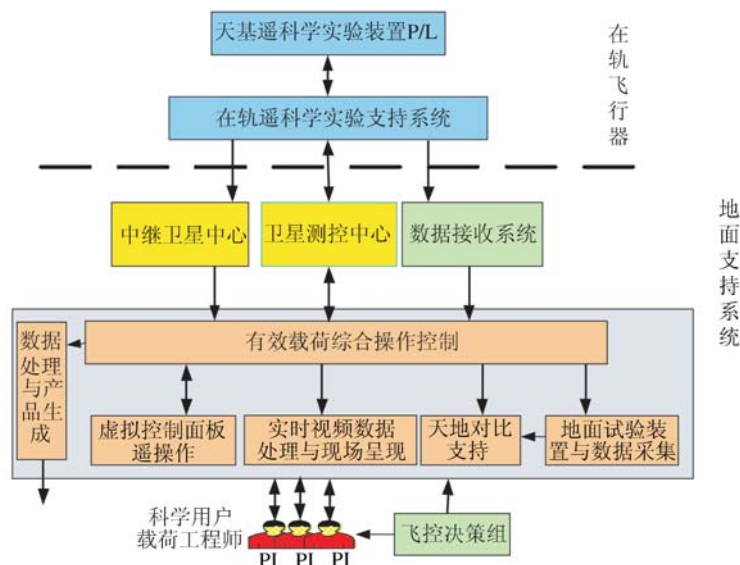


图 2 有效载荷遥科学支持的组成

Fig.2 Framework of telescience support system

实际的运控指令, 并通过卫星测控系统自动将指令上行到卫星上的实验装置, 实现遥操作的控制过程. 对于天地对比实验, 在天基微重力科学实验的同时, 在地面利用备份设备或初样设备同时开展实验工作, 实验过程与星上一致. 具体实现可以利用 PXI 等设备, 采集控制科学实验装置接入任务网, 接收任务网与之有关的在轨载荷控制命令, 同时用这些命令控制地面实验装置的实验过程. 采集地面和空间科学实验的下传参数集成到一起, 处理后进行集中显示和对比分析, 实现天地对比实验过程.

遥科学实验需要天地一体化支持, 天基部分需要具备实验现场的获取与下行能力, 并能够根据地面的指令改变实验参数, 控制实验进程.

5 结论

中国已规划了空间天文、空间物理和空间环境利用等系列科学卫星, 这些科学卫星项目都需要建立地面任务支持系统来保障其预定科学目标的实现. 本文通过对已完成和未来空间科学卫星任务特点的分析, 提出了空间科学实验地面支持系统平台的设计方案, 此方案可以满足未来空间科学实验的基本要求, 利用此平台可以快速构建

支持某具体空间任务的地面系统.

本文重点对遥科学实验地面支持系统进行了深入的分析, 由于空间科学任务的种类很多, 地面支持系统平台的建立还需要多方面研究工作的开展. 系统的通用性和可扩展性将是今后研究工作的重点.

参考文献

- [1] Barbara B P. Grand Challenge Problems in Real-time Mission Control Systems for NASA's 21st Century Missions. Canada: SPACE OPS, 2004. 1~3
- [2] Richard Paul, Thomas Lindsay. Time delay insensitive. In: Teleoperation Proceedings of the 1992 IEEE/RSJ RSJ International Conference of Intelligent Intelligent Robots and Systems, 1992. 247~254
- [3] Xu Fuxiang *et al.* Satellite Engineering (1). Beijing: China Astronautics Publishing House, 2003. 2~25. in Chinese (徐福祥等. 卫星工程概论 (上). 北京: 宇航出版社, 2003, 2~25)
- [4] Xu Fuxiang *et al.* Satellite Engineering (2). Beijing: China Astronautics Publishing House, 2003. 1~394. in Chinese (徐福祥等. 卫星工程概论 (下). 北京: 宇航出版社, 2003. 1~394)
- [5] Xia Nanyin *et al.* Spaceflight Telemetry and Control System. Beijing: National Defence Industry Press, 2002. 5~182. in Chinese (夏南银等. 航天测控系统. 北京: 国防工业出版社, 2002. 5~182)