

支持网络互连的可重构卫星平台关键技术研究

王超¹, 韩笑冬¹, 王睿¹, 周晞¹, 杨琳璐¹, 刘亚萍²

(1. 中国空间技术研究院通信卫星事业部, 北京 100094; 2. 中南大学信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘 要: 可重构综合卫星平台是一种新的航天器设计理念, 通过开展分布式计算在可重构综合卫星平台中的应用研究, 提出各类载荷通过标准的机械接口、电接口与平台主体舱段结合或分离, 再次形成一个新的组合体, 实现平台功能的拓展和高效利用。围绕支持网络互连的可重构综合卫星平台的关键技术, 从安全控制协议、可扩展设计、分布计算与管理模型等方面进行详细设计, 能够满足已有的通信、遥感和导航领域需求, 将推动航天器设计向综合业务、在轨可重构方向不断发展, 提升在轨运行的稳定性、抗毁性以及可维护性, 为我国天地一体化网络研究提供可靠的技术基础。

关键词: 网络互连; 可重构卫星平台; 分布式计算

中图分类号: V1

文献标识码: A

Study of key technology for reconfigurable satellite platform supporting network interconnection

WANG Chao¹, HAN Xiao-dong¹, WANG Rui¹, ZHOU Xi¹, YANG Lin-lu¹, LIU Ya-ping²

(1. Institute of Telecommunication Satellite, CAST, Beijing 100094, China;

2. School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Reconfigurable satellite platform is a new spacecraft design concept. The application of distributed computing in reconfigurable integrated satellite platform was studied, the standard mechanical interface, electrical interface for the separation or separation between main platform and a variety of payloads to form a new combination and achieve the expansion of platform functions and efficient use was proposed. Including the security control protocol, scalable design, distributed computing and management models and other aspects of a detailed design, the key technologies of reconfigurable integrated satellite platforms supporting network interconnection were studied to meet the existing communications, remote sensing and navigation satellites' needs. It will be promoted for the spacecraft design to the integrated business and in the orbit reconfiguration direction of continuous development, which will enhance the stability of the orbit operation, survivability and maintainability and provide a reliable technical foundation for the world of integrated network research.

Key words: network interconnection, reconfigurable satellite platform, distributed computing

1 引言

随着现代科技的飞速发展, 人类利用空间、探索空间的模式已经从将单一航天器送入空间执行任务的方式向多个航天器网络化的系统应用模式

发展。天基信息网络对未来高科技战争中制空间信息权的夺取和空间优势的确立具有重要意义, 世界各军事强国都大力发展相关技术。

从目前各国对天基网络的发展规划来看, 多在探讨能否使用地面网络的机制进行大规模天基组

收稿日期: 2017-09-18

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61471360); 中国空间技术研究院—中南大学空间信息系统联合实验室重点基金资助项目

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61471360), The Key Joint Project Of China Academy of Space Technology-Central South University Joint Laboratory Of Spatial Information System

网,从而将天基网络发展为跨更大地域网络骨干。纵观国际互联网与 CCSDS 协议体系的发展历史,信息传输技术经历了从消息交换、电路交换到分组交换的发展过程。分组交换技术实质上是在“存储—转发”基础上发展形成的,具有物理链路利用率高、信息传输可靠性高、分组多路通信等特点,已被实践证明是高效合理的信息交换机制^[1-3]。因此,未来空天地一体化信息网络将采用基于分组交换的网络体系,并且网络协议体系也应具备动态可重构性^[4]。

我国近年对卫星网络开展了大量的研究和实践工作,但其运行模式仍然是传统的数据中继,数据的交换与路由均需要经过指定的地面站处理,其实时性和传输效率很低。这与军事网络需求中要求空天地网络一体化设计需求以及当地面网络摧毁后,空天网络仍能维持最小限度独立运行的自主性与抗毁性的要求还有很大的差距。

因此,支持基于网络互连的综合卫星平台的在轨可重构性是天地一体化网络体系设计的重要目标。可以设想,通过对在轨可重构综合卫星平台的研究,能够达到对在轨系统在稳定性、抗毁性、可维护性和独立工作能力的有力支持,为我国天地一体化网络研究提供可靠的技术基础。

如图 1 所示,本文基于分布式网络计算的理论^[5-9],论述了在可重构综合卫星平台中支持载荷舱与核心舱“挂载对接”,各类载荷通过标准的机械接口、电接口与平台主体舱段结合或分离,再次形成一个新的组合体,实现平台功能的拓展和高效利用。围绕可重构综合卫星平台的关键技术,包括安全控制协议与机制,研究基于组件化的综合卫星平台功能可扩展技术以及基于分布式计算的敏感组件、敏感任务分布计算与管理模型,给出了详细设计与技术实现途径。

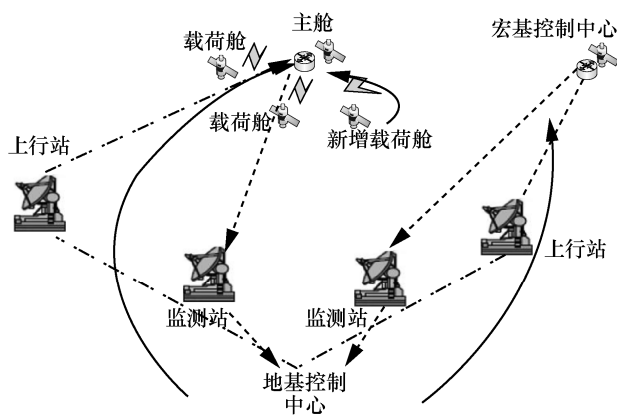


图 1 可重构综合卫星平台在天地一体化网络应用设想

2 基于分布式计算的可重构综合卫星平台优势分析

在轨可重构综合卫星平台是通过多次发射并在轨进行组装的长期在轨运行的公用平台,是关系我国宇航能力提升和长远发展的新一代航天器系统,能够满足已有的通信、遥感和导航领域对高性能的需求,支撑新概念航天应用任务,其特征可总结为“功能分解、结构分离、无线连接、编队飞行”,能够大大提高在轨系统的灵活性、可扩展性和可维护性。可重构综合卫星平台包括一个平台核心舱和多个载荷舱,既可以实现平台核心舱与载荷舱独立飞行的模式,也可以实现平台核心舱与一个或多个载荷舱组合飞行的模式,平台核心舱与各载荷舱均配置独立的计算机系统与通信系统。

本文提出的基于分布式计算在可重构综合卫星平台中的应用研究,就是建立平台核心舱与各载荷舱之间的基于无线通信的功能模块挂载与卸载以及构建星内网络计算环境,即管理天基网络中“机柜内”的计算资源。在对各类载荷舱加载与维护的过程中,利用分布式计算的思想以及模块化和组合的概念,传统卫星上的重要部件,如监视相机、各种高技术传感器等将形成一个个单独的小卫星,运行在主卫星附近。由于监视相机、高技术传感器是容易受攻击的目标,因此,可以将监视相机、高技术传感器所在小卫星的控制程序存储主体放在平台核心舱中,在监视相机、高技术传感器所在卫星被摧毁或被捕获的条件下,不会泄露敏感数据与证据,同时也能通过平台重构技术快速恢复。

例如,对于天基网络平台,无人机或无人机群接入天基网络后,其任务需求除了要求网络服务质量保证之外,还可以有计算模式需求。天基网络资源管理除了对天基网络中的各类网络载荷进行管理监控之外,还需要对联入天基网络的各种手持终端、地面机动网络、空中的各类机动平台进行监控和管理。由于网络的接入终端的安全性相对较低,如果在其上部署传统的天基网管,则其被第三方侵入和控制后,将暴露天基网元控制系统或天基网管系统的位置,同时可以通过技术手段很快分析出所采用的网管协议,并获取相应的网管控制信息。因此,对于此种任务,可以为其分配分布式计算模式,当天基网络中的空间路由器收到报文之后,根据人员身份标识查询获知用户的角色等级,

确定用户的通信级别,再根据用户等级和网络应用的类型重写报文,确保可重构综合卫星平台信息传输的安全性。

3 可重构综合卫星平台关键技术研究

综合现有的商用开放式操作体系结构以及可重构综合卫星平台的需求分析,本文主要进行了 3 项关键技术研究,分别为支持载荷舱与核心舱“挂载对接”的安全控制协议设计、机制与实现技术;基于组件化的综合卫星平台功能可扩展机制与技术;基于分布式计算的敏感组件敏感任务分布计算与管理模型、机制与实现技术。

3.1 “挂载”“卸载”的安全控制协议

安全协议的重构能力,一是指天基网络系统支持协议的多态性,即可以包含多个协议体系,可以根据策略支持不同协议体系的互通,也可以按照隔离模式同时运行,二是指支持协议的动态重构性,既可以根据需求进行协议体系间的切换,做到和平时期基于通用技术体系实现全域互联,特殊时期切换到专用协议体系实现特定要素的互联;也可以根据对抗需求,动态调整网络协议的格式与交互方式,抑制各种网络攻击。

“挂载”“卸载”的安全控制协议是针对综合卫星平台网络,设计载荷舱进入运行轨道后,如何自动地与主舱进行握手通信,支撑载荷舱功能可动态“挂载”与“卸载”的安全控制协议,该协议是综合卫星平台网络的基础通信协议^[10,11]。

安全控制协议的设计从如下几个方面考虑:设备发现、身份验证、接入注册、配置请求、状态报告、通信保活、主动退出等。由于主舱与载荷舱之间完全通过无线通信方式维护卫星平台逻辑构成一个整体,为了防止通信失败以及参与实体的身份非法性,对控制协议传输信息进行了安全加密处理。因此,协议的安全性设计是着重考虑的因素,当身份验证通过之后,后续的报文可以基于身份认证时协商的密钥进行加密。

当载荷舱作为客户端注册请求成功之后,说明其向主舱“挂载”成功。为方便后续的配置、可能的升级等工作,接入注册时,客户端可以主动汇报自己的标识、功能、初始出厂配置等。当保活报文长期超时,或者客户端主动离开,或者服务端强制某客户端“卸载”,则客户端“卸载”成功。

安全控制协议的过程设计如图 2 所示。

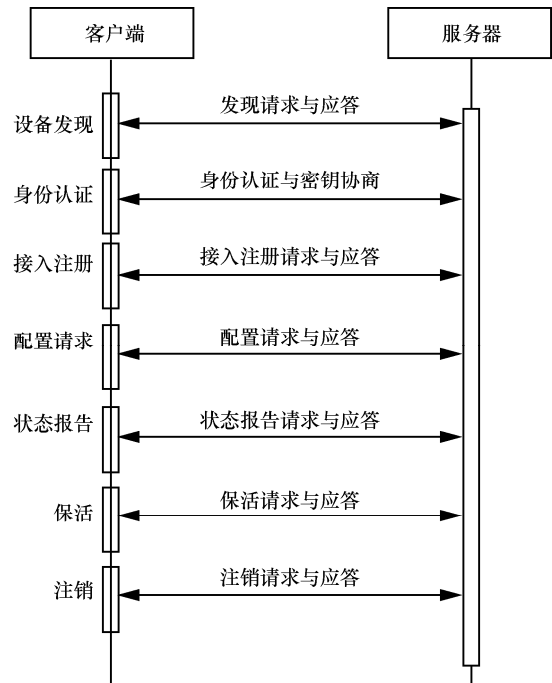


图 2 安全控制协议

3.2 基于组件化的功能可扩展设计

为了能够保证在轨可重构综合卫星平台的正常工作以及考虑到后续功能升级,本文提出一种基于组件化的功能扩展技术,即对卫星平台采用组件化设计,把综合卫星平台的各个载荷功能以组件形式实现,如果综合卫星平台需要增加某个功能,只需要将该功能的组件添加到综合卫星平台中,不需要修改原有结构,也不影响综合卫星平台现有功能组件的工作^[12,13]。

基于组件化的功能升级的综合卫星平台逻辑结构如图 3 所示,综合卫星平台在出厂时候实现主舱组件,满足设备的基本功能。而在功能升级时,在功能升级部分进行,而不修改基础功能组件。管理功能支持平台用于对管理服务层提供统一的接口,当综合卫星平台需要添加新的管理功能时,只需要在管理功能支持平台上面添加并注册一个管理功能组件^[14]。

在提出基于组件化的综合卫星平台逻辑结构后,得益于功能组件之间具有松耦合特性以及功能组件之间统一定义的接口,后续可根据需要方便接入新的功能组件,将不同功能组件组合起来构成一个完整的综合卫星平台,或将新的功能组件添加到现有综合卫星平台中。

3.3 基于分布式计算的敏感组件敏感任务分布计算与管理模型

在对各类载荷舱加载与运维过程中,利用分布

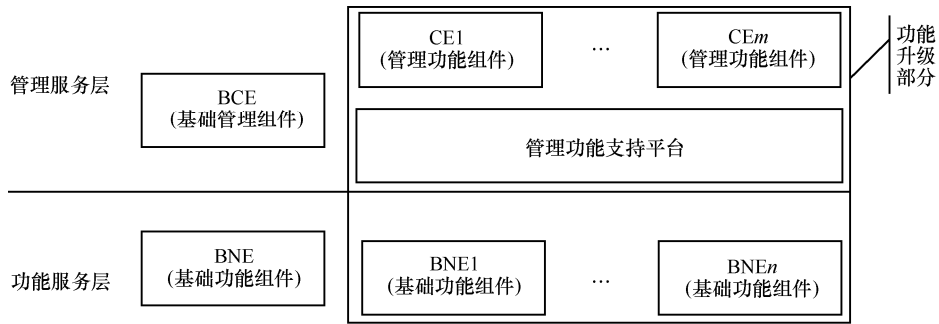


图 3 基于组件化的功能升级模块

式计算的思想以及模块化和组合的概念^[7]，将传统卫星上的重要敏感部件，如监视相机、各种高技术传感器等将形成一个个单独的小卫星，运行在主卫星附近。小卫星的控制程序存储主体放在平台核心舱中，小卫星自身被摧毁或被捕获的条件下，不会泄露敏感数据与证据，同时也能通过平台重构技术快速恢复。

图 4 给出了敏感舱接收主舱命令，进行计算模式切换的详细设计。根据主舱的命令（如接收到控制中心的命令），系统切换到基于分布式计算的模式，同时加载敏感任务，同样依据命令，系统可以从分布式计算模式切换到独立计算模式或普通云计算模式^[15,16]，从扩展安全控制协议操作的角度设计与实现计算模式切换等功能。除此以外，敏感

舱还设计了可根据历史数据进行机器学习的功能，智能自行决策计算模式切换的时机，并主动发起切换。

4 结束语

可重构综合卫星平台是通过多次发射并在轨进行组装的长期在轨运行的公用平台，可实现不同舱体之间的数据传输和共享，实现平台功能的拓展和高效利用。本文基于分布式网络计算的理论，论述了在可重构综合卫星平台中支持载荷舱与核心舱“挂载对接”，各类载荷通过标准的机械接口、电接口与平台主体舱段结合或分离，再次形成一个新的组合体，实现平台功能的拓展和高效利用。围绕可重构综合卫星平台的关键技术，包括安全控制

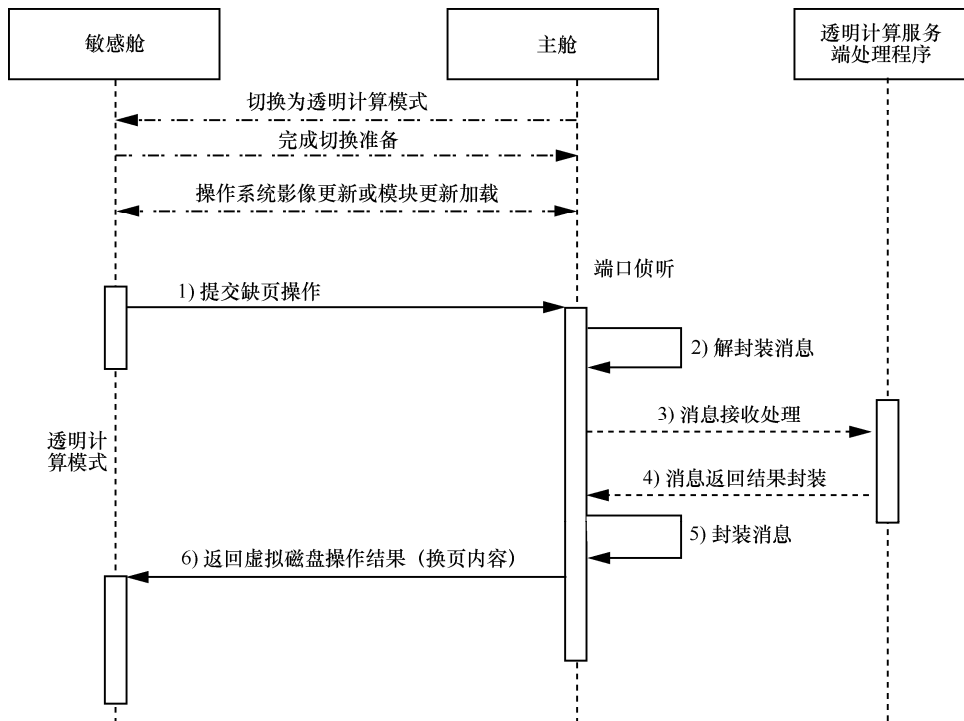


图 4 敏感任务分布式计算模式切换

协议与机制, 研究基于组件化的综合卫星平台功能可扩展技术以及基于分布式计算的敏感组件、敏感任务分布计算与管理模型, 给出了详细设计与技术实现途径, 能够满足已有的通信、遥感和导航领域需求, 将推动航天器设计向综合业务、在轨可重构方向不断发展, 提升在轨运行的稳定性、抗毁性以及可维护性, 为我国天地一体化网络研究提供可靠的技术基础。

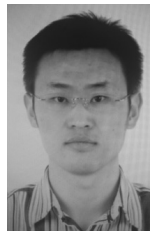
参考文献:

- [1] NASA. Space network users guide (SNUG) revision 10[R]. Goddard Space Flight Center, 2012.
- [2] ETSI. Radio frequency and modulation standard for telemetry, command and ranging (TCR) of geostationary communications satellites[R]. 2002.
- [3] CCSDS. Telemetry channel coding[S]. CCSDS 101.0-B-4. CCSDS, 1999.
- [4] 张军. 面向未来的天地一体化网络技术[J]. 国际航空, 2009, 3: 26-29. ZHANG J. Air/space/ground networks, a bridge from today to tomorrow[J]. International Aviation, 2009, 3: 26-29.
- [5] Xilinx, Inc. Correcting single-event upsets through virtex partial configuration[R]. Xilinx Application Note; XAPP714 (v1.4) 2006: 1-56.
- [6] MICHAEL A, ARMANDO F, REAN G, et al. A view of transparency computing [J]. Communications of the ACM, 2010, 53(4): 50-58.
- [7] SANJAY G, HOWARD G, SHUNTAK L. The Google file system[C]// 19th ACM Symposium on Operating Systems Principles (SOSP 03). New York: ACM, 2003: 29-43.
- [8] 陈康, 郑纬民. 云计算: 系统实例与研究现状[J]. 软件学报, 2009, 20(5): 1337-1348. CHEN K, ZHENG W M. Cloud computing: system instances and current research[J]. Journal of Software, 2009, 20(5): 1337-1348.
- [9] 王鹏. 云计算的关键技术与应用实例[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010: 12-20. WANG P. Key technologies and application examples of cloud computing[M]. Beijing: PTPRESS, 2010: 12-20.
- [10] 李梦君, 李舟军, 陈火旺. 基于逻辑程序的安全协议验证[J]. 计算机学报, 2004, 27(10): 1362-1368. LI M J, LI Z J, CHEN H W. Verifying security protocols based on logic program[J]. Chinese Journal of Computers, 2004, 27(10): 1362-1368.
- [11] 李亚琼, 宋莹, 黄永兵. 一种面向虚拟化云计算平台的安全机制研究[J]. 计算机学报, 2011, 34(4): 684-693. LI Y Q, SONG Y, HUANG Y B. A memory global optimization approach in virtualized cloud computing environments [J]. Chinese Journal of Computers, 2011, 34(4): 684-693.
- [12] 王庆波, 金漳, 何乐, 等. 虚拟化与云计算[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010: 30-80. WANG Q B, JIN Z, HE L, et al. Virtualization and cloud computing[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2010: 30-80.
- [13] 陈全, 邓倩妮. 云计算及其关键技术[J]. 计算机应用, 2009, 29(9): 2562-2567. CHEN Q, DENG Q N. Cloud computing and its key techniques[J]. Journal of Computer Applications, 2009, 29(9): 2562-2567.
- [14] 张尧学, 史美林, 张高. 计算机操作系统教程(第 3 版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006. ZHANG Y X, SHI M L, ZHANG G. Computer operating system tutorial (third edition)[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [15] 张尧学. 透明计算: 概念、结构和示例[J]. 电子学报, 2004, 32(12A): 169-173. ZHANG Y X. Transparency computing: concept, architecture and example[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(12A): 169-173.
- [16] 郭道省, 张邦宁, 刘爱军, 等. 基于透明转发器的卫星通信抗干扰技术及仿真系统[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2002, 3(1): 40-44. GUO D S, ZHANG B N, LIU A J, et al. Anti-jamming technologies and simulation system for transparent transponder in satellite communication[J]. Journal of PLA University of Science and Technology, 2002, 3(1): 40-44.

作者简介:



王超 (1987-), 男, 陕西西安人, 中国空间技术研究院通信卫星事业部工程师, 主要研究方向为星上综合电子技术。



韩笑冬 (1983-), 男, 山西太原人, 博士, 中国空间技术研究院通信卫星事业部工程师, 主要研究方向为星上综合电子技术。

王睿 (1983-), 男, 山东济南人, 博士, 中国空间技术研究院通信卫星事业部工程师, 主要研究方向为无线网络通信技术、星上综合电子技术。

周晞 (1981-), 男, 贵州贵阳人, 博士, 中国空间技术研究院通信卫星事业部工程师, 主要研究方向为微波成像技术、星上综合电子技术。

杨琳璐 (1989-), 女, 河北衡水人, 中国空间技术研究院通信卫星事业部工程师, 主要研究方向为航天器测控总体技术。

刘亚萍 (1973-), 女, 湖南澧县人, 博士, 中南大学信息安全与大数据研究院教授、博士生导师, 主要研究方向为计算机网络及信息安全。