

Discussion on Key Technologies for Autonomous Operation of Space TT&C Systems

Wei Deng Min Zou Haichao Luo Zhenyu Zhong

Beijing Aerospace Wanyuan Science & Technology Co., Ltd., Beijing, 100176, China

Abstract

Affected by the space industry development trend and the future inevitable demand, at present space measurement and control system began to represent the characteristics of intelligent direction, the space technology and control system operation logic put forward higher requirements, need to rely on the computer mapping reality system method, promote both stability and flexibility, support independent operation requirements, at the same time have good evolution performance of the system architecture. Based on this, the key technologies for autonomous operation of aerospace measurement and control systems are summarized and analyzed in the paper's research.

Keywords

space TT&C system; autonomous operation; key technology

航天测控系统自主运行的关键技术探讨

邓伟 邹敏 骆海潮 钟振宇

北京航天万源科技有限公司, 中国 · 北京 100176

摘要

受航天事业发展趋势以及未来必然需求影响, 现阶段航天测控系统开始趋向以自主运行能力为代表特征的智能化方向发展, 这就对航天测控系统运行技术以及操作逻辑提出更高的要求, 需要其依托于计算机映射现实系统的思想方法, 推动兼顾稳定性以及灵活性、支持自主运行要求, 同时具备良好进化性能的系统架构形成。基于此, 论文研究中对航天测控系统自主运行关键技术进行梳理分析。

关键词

航天测控系统; 自主运行; 关键技术

1 引言

现阶段航天器发展呈现出自主化与智能化以及规模化与集群化两个主要趋势。前者主要表现在伴随着航天器自主飞行能力提高, 航天测控系统对事务性支撑需求逐步降低, 航天器系统的功能性和复杂性日益提高, 对空间测量控制系统在非正常条件下的分析和处理的能力提出更高要求。后者主要表现在随着航天器生产制造技术发展和太空任务需求的活跃, 小型和微型航天器数目出现明显增长趋势, 并开始出现集群模式运作, 这就使得空间测量与控制系统的效率需求大大提高。在此背景下, 航天测控系统自主运行将成为推动其当前发展重要方向。

2 航天测控技术发展现状

从实际角度分析, 现阶段航天行业发展环境较为稳定, 各种航天实验以及导弹发射活动等均取得较为理想的成就。当前航天测控领域在系统设计以及网络覆盖等方面均已较多成果, 航天单位也逐渐去向国际化方向发展^[1]。就航天测控技术自身角度而言, 现阶段航天测控技术主要具备如下特征: 第一, 统一性、规范化以及综合水平均得到显著提升; 第二, 固定站点设定可基于实际情况进行, 同时还可以实现组合配置; 第三, 测控技术成果被广泛应用于导弹及卫星发射之中, 主要发挥通用装置职能, 利用各数据结构构建统一标准口径, 推动航天测控技术水平不断提升, 促使航天测控技术稳定发展。

3 航天测控关键技术

3.1 标准化支持与服务

在标准化层面上主要包括两个部分: 一是向卫星提供的测试控制系统的标准化, 二是向用户提供的测试控制系统的标准。

【作者简介】邓伟(1984-), 男, 中国湖北孝感人, 硕士, 高级工程师, 从事嵌入式测控技术研究。

在测控系统对卫星支持标准化方面，其主要为支持卫星飞行的角度规定测控系统及卫星系统间接口，主要包括支持协议、通信协议等^[2]。其中，支持协议主要是针对卫星可测量及可控制项目展开，此外还对在执行项目过程中所涉及方式、过程、数据等展开详细的说明，如可测量距离、速度、星上时钟等，如此即可以对所有星载设备和工作状态展开控制。相关支援协定相当于建立一个标准的卫星操纵界面，类似于人一机界面、汽车驾驶中人机接口。

通信协定则是对星地之间的通信模式和通信品质作详细的说明。通信质量主要是指通信方式对通信需求的满足程度，通信需求可被分成如下表 1 所示类型。

表 1 通信需求类型

需求分类	延迟性	误码性	连续性
消息指令型	无延迟	无误码	突发型
文件数据型	低延迟	无误码	持续型
多媒体流型	低延迟	低误码	持续型

现阶段较为成熟的通信协议主要以 CCSDS 系列标准为代表。

相关标准确立使测控系统能够按照最优逻辑运行任何一种卫星，让用户能够最大限度地利用其所提供的各种服务，并不断提高各系统协同程度^[3]。例如，移动电话终端装置多种多样，包括功能手机、智能手机、上网卡、嵌入式系统等，如果其制式与网络标准相匹配，那么就可以在网上进行操作，无论是互联网还是移动电话，都在不断地进行改良和革新，并顺利地进行的。目前，对地球卫星运行规则及使用方法均已得到较深入的研究与实践，其运行过程对测量控制系统要求具有较高一致性，同型号卫星使用方式也大致相似，其在技术层面已经具备标准化条件。而提升系统的可靠性，可以提升社会参与程度，推动产业迅速发展，还可以生成最优系统内部界面运作逻辑，为整体系统自治运作提供依据。

3.2 映射现实的体系架构

航天测控系统的常规设计是以实现测控通信功能为中心，按程序进行自动化操作。如此一来，整个体系可扩充性和可演化性都受到极大的制约，从而限制系统测控能力迅速发展。

映射现实的根本思路是基于计算机设备构建与真实世界中目标系统的映射关系，软件模块及目标系统结构单元或构成实体（简称“实体”）呈现出相互对应态势，且其状态及行为较为类似，由此软件系统及目标系统间，可促使系统结构或组织构成、运行机制等方面形成相似状态。若在代理与实体之间构建度量与控制联系，则代理之间协同作用便能实现对目标自动控制运行^[4]。图 1 中云外的要素为空间测量控制系统的主要实体，云内要素为测量控制中心计算机系统各主体的代理，雷标为对应关系，双向箭头为测量控制装置的控制路径，成对的单箭头表示卫星操控通路。

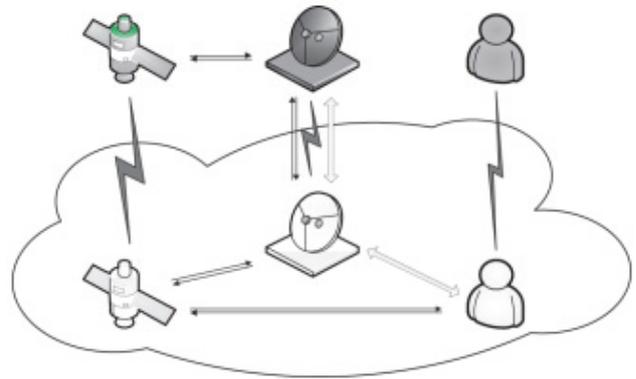


图 1 映射现实的体系架构

虚拟操作者及管理者的，具备对卫星及相关设备的管理及运作的知识及规则。其实际运行中主要基于设备及卫星状态与序列，根据多个卫星或航天器的任务，通过虚拟管理者的知识与规则，对其进行最优控制策略。随后由虚拟操作者基于方案及卫星具体情况实施。各环节之间以事件信息为纽带进行协同工作，以达到各自的目的。在实施方面，其可以运用人工智能有关技术，重点环节在于对知识与规则的表示以及对推理、规划与决策的运用^[5]。虚拟装置和卫星的基本架构如图 2 所示。测量数据经测量界面输入到状态判断模块，对其进行处理得出当前状态，并将状态序列数据经状态界面输出给虚拟管理者。虚拟操作者利用虚拟装置与卫星之间的通信接口，对远程控制系统进行控制，并将控制结果转换成命令与数据，然后由远程控制接口发送给现实装置与卫星。基于该体系结构，其可以实现一个稳定、标准的界面，在保证系统可持续扩展和演化前提下，其具有很强的可重构性，同时还可以保持系统可持续扩展以及进化能力。

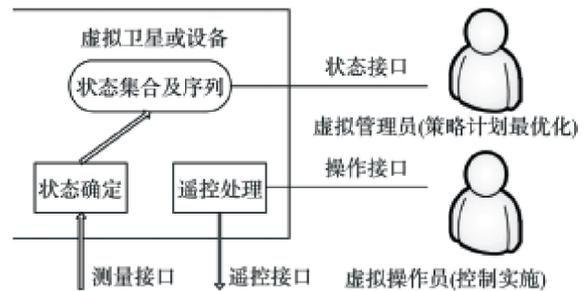


图 2 代理间合作关系

3.3 实时响应的运行模式

传统航天测控系统运行方式是通过时间计划驱动系统的自动化工作，尽管自动化工作的精度也很高，但其智能化水平较低，需要有人值守。同时其实际运行中需要以星期等为周期制定较长时间的计划。另外，由于要考虑到工作人员劳动强度，其工作时间需要集中在白天，很难提供全天候全时段的测控服务。虚拟管理员和操作员就是为达到此目的而设计，其可以跟实际管理员和操作员相同，对各种请求和事件实时做出响应，从而实时指挥控制整个系统自主运作。其

简单距离描述如下:

在卫星进入地球之前,根据工作安排和用户要求,该虚拟管理员将会向测控网络虚拟管理员(以下称为“虚拟网管”)提出测控设备的要求。根据已有仪器利用情况及工作的轻重缓急顺序,安排已有的最佳仪器及仪器,然后由系统管理者向系统中的虚拟操作员发出指令,为系统中追踪进行数据预备工作,由系统中网络管理者发出指令,设置系统中追踪参数,随后虚拟装置会向实际装置传送参数以供追踪。当真实设备捕捉到卫星后,虚拟装置就会将其转化为追踪启动事件,并将其告知给虚拟管理员。虚拟管理员按照工作程序,指导虚拟操作人员对卫星进行操作,并向卫星中注入指令、数据等。同时,虚拟装置向虚拟卫星传送实测数据,使其能够对实际卫星进行状态判断,并能对其进行健康监测。在真实设备追踪完成阶段,由虚拟装置发送追踪完成事件通知,由虚拟操作者对数据进行处理,完成定轨、定姿定态工作,并在此基础上更新相应预测,最终由虚拟管理员制定下一步的行动方案。

同时,系统也可以通过创建虚拟用户,使真实用户需求与要求在系统中得到体现。在虚拟用户收到真实用户的测控要求或数据时,其应按照规定与虚拟用户进行协调,尽早安排测控工作,从而达到最大限度地利用测量与控制资源,大幅提高测控系统工作效率与处理能力,并获得更好的用户体验目标。

4 航天测控系统发展趋势

目前,从陆海基测量网络向天地一体化综合测量网络发展,是航天测控系统发展主要方向。目前天基测控体系大致可以划分为两类:一类是以跟踪及数据中继卫星为主,即依托于数据中继达成相应目标的测控系统;二是可以实现对航天器和地物的精确定位和速度和时间的精确定位系统。构建数据中继卫星系统,将GPS/GLONASS以及正在建设中的北斗全球卫星导航定位系统的优势,是航天测控网的发展方向。对地面测控站点进行优化配置,从陆地和海洋的测控网逐渐过渡到以天基为主、天地相结合的一体化综合测控网。卫星发射部分、高轨道卫星及小型卫星长期运行,主要靠地面设备来实现。对于中、低轨道空间飞行器,主要以天

基系统为主、地基设备为辅。

以中继卫星为中心的天地一体化测控系统,不仅能够提高测控覆盖率和轨道测量精度,还能够提高测控系统的全过程测量和多个目标同时测量和控制,还可以实现各种类型的对地观测卫星的高速、实时数据传输^[6]。从迫切需要和实际可能出发,应该分阶段地开展相关工作。首要步骤为在已有卫星平台上,利用S、Ka固平面抛物面天线作为星间通讯天线,尽快地研制并发射实验或试用型数据中继卫星。然后,基于大型卫星平台、可展大孔径天线等优势,研制并发射二代中继卫星,并与两颗在轨工作星及一个地面终端站组成一套高性能实用系统。同时为该系系统开辟新应用领域。在此基础上,构建基于卫星导航和定位的外弹道测量(遥测)系统。对安装有GPS/GLONASS/北斗三大系统的S频段卫星遥感站进行改造,形成一套完整的远距离遥感综合测量装置。并将其用于测姿和轨道等领域,以提高其对地面测控网的控制水平。

5 结语

综上所述,现阶段航天测控系统发展势头良好,为进一步满足其未来智能化发展要求,相关技术人员应继续加强对标准化支持与服务、映射现实的体系架构、实时响应的运行模式的研究力度,为推动航天测控系统发展提供有力保障。

参考文献

- [1] 马军星,杨俊武,秦明暖,等.航天测控系统星地测控对接模式应用现状与发展趋势[J].电讯技术,2021,60(2):7.
- [2] 余涛.航天地面测控系统的健康管理应用[J].电讯技术,2021,61(1):6.
- [3] 王罡.射频数字化在航天测控系统中的应用[J].电子技术与软件工程,2021(14):2.
- [4] 李璜,王志生,杨洋,等.一种航天测控系统可靠性量化计算方法[J].遥测遥控,2022(3):43.
- [5] 操礼长,王小雨,申健,等.基于微服务架构的航天测控系统设计[J].计算机与网络,2022,48(13):5.
- [6] 马佳楠,张利萍,董浩,等.航天测控网多模式效能评估系统设计与关键技术实现[J].电讯技术,2023,63(1):32-38.