

一种基于中台的多航天器综合评估系统架构设计



刘帆 王莉 刘凯 黄晓峰

航天器在轨故障诊断与维护重点实验室 西安 710043

摘要 为解决测控管理部门快速响应多航天器系统综合评估需求的问题,在对多航天器综合评估任务需求和中台技术特点进行深入分析的基础上,设计了基于业务中台与数据中台的多航天器综合评估系统架构。该系统采用评估场景驱动模式,业务中台按照评估场景驱动数字中台完成基础数据资源整合和评估分析工作。所提出的中台架构旨在突出平台化共享,强化服务复用能力,对于航天器测控管理部门提升评估任务响应效率,并形成创新信息服务能力具有参考价值。

关键词 多航天器系统;综合评估;业务中台;数据中台;架构设计

中图法分类号 TP399

Architecture Design of Multiple Spacecraft Comprehensive Assessment System Based on Middle Platform

LIU Fan, WANG Li, LIU Kai and HUANG Xiao-feng

Key Laboratory for Fault Diagnosis and Maintenance of Spacecraft in Orbit, Xi'an 710043, China

Abstract In order to solve the problem of rapid response of the measurement and control department to the needs of multiple spacecraft system comprehensive assessment, this paper designs the system architecture based on business platform and data platform, after in-depth analysis of the task requirements and technical characteristics of middle platform. The system architecture uses the evaluation scenario driven mode, and the business platform drives the data platform to complete the base data resource integration and evaluation analysis according to the scenario. The middle platform architecture proposed in this paper aims to highlight platform sharing and strengthen service reuse capability, which is of reference value for spacecraft measurement and control department to improve evaluation task response efficiency and form innovative information service capability.

Keywords Multiple spacecraft systems, Comprehensive assessment, Business platform, Data platform, Architecture design

1 引言

近年来,航天力量建设、商业航天事业以及空间探索和科学任务成为我国航天器研制和生产的有力需求牵引,我国在轨航天器呈现出一体化、规模化、星座化、大容量等新的特点。上述变化对航天器测控管理部门的服务能力提出了更高的要求。航天器测控管理部门在提供数量巨大、形式多样的航天测控支持服务的同时,还需要快速响应各方提出的信息服务需求。在2015年至2019年我国发射入轨的177颗卫星中,采用星座、编队、集群等协同应用模式的卫星占比达到约58%,故而及时、全面、准确、高效地提供多航天器系统评估结果成为航天器测控管理部门亟需具备的一项创新信息服务能力。

2 多航天器综合评估任务特点及需求分析

考虑到航天器测控管理部门的行业特殊性,本文定义多航天器综合评估任务为融合在轨航天器联合体的各种测控信息和管理信息,基于综合评级业务需求形成的多样化信息服务。这里,“综合”有两方面含义:一是评估任务不仅需要满足诊断维修、应用效能、项目论证、性能分析等常见类型的评估

需求,还需要满足具有融合类型特点的评估需求。二是评估任务需要遵从系统性原则^[1],航天器联合体不是单个航天器的简单相加,所使用的评估指标也不是各个下级指标的简单相加,其中不仅有线性关系,更多的是非线性关系。

根据定义,多航天器综合评估任务具有如下突出特点:

(1)评估需求针对性强。开展多航天器综合评估工作首先需要明确评估的对象、范围、时段、目的和用途。如以诊断维修为目标的评估任务,主要作用就是分析航天器当前的运行状态,推断并确定系统功能下降程度,给出评估策略和评估结果,以便更新控制指令和制定故障修复办法^[2];以应用效能为目的评估任务,需要充分反映在特定的条件下达到规定使用目标的能力^[3];以项目论证实验为目的评估任务,主要用于早期发现和纠正存在的缺陷和问题,为改进航天器的性能、完善研制项目监控、保障用户的最终使用提供至关重要的信息^[4];以性能分析为目的评估任务,主要评估在轨航天器在轨运行和应用性能,评估结果主要应用于系统总体设计^[5-6]。

(2)标准化和定制化评估服务并存。多航天器综合评估需求虽然各有不同,但是由于属于相同的业务领域,在评估方法、工作流程以及数据处理方法方面具有共通性。比如,在卫星通信系统效能评估和导航卫星星座性能评估中均涉及星座

覆盖性能评估^[7-8];又如,导航卫星的卫星无线电导航系统(Radio Navigation Satellite System, RNSS)和卫星无线电测定服务(Radio Determination Satellite Service, RDSS)业务服务性能,均涉及精度、连续性和可用性方面的指标评估^[9]。标准化评估适用于重复性常规评估任务,通过制订、发布及实施统一的标准规范,即可高效、快速地提供内容完备、质量稳定的评估产品。定制化评估则是在标准化的基础上,依据用户需要提供个性化评估产品。相对于标准化,定制化评估的时间成本和人力成本均较高。从信息服务能力提升的角度,标准化仅是过程,而定制化则是目标。

(3)评估过程需要迭代和演进。一方面,用户提出的评估需求不可避免地存在着一定程度的不确定性和随机性,当多航天器系统的内外部因素,如空间构型、工作状态、使命任务、测控条件、空间环境以及应用方式等发生改变时,用户的评估需求也将随之改变;另一方面,为了确保评估服务的有效性,所使用的评估指标、分析模型等往往还需要依据评估结果进行分析和检验,必要时还需要进行升级和改造。

传统的航天器评估系统在建设过程中习惯于针对效能评价、健康评估、性能分析、项目论证等不同业务需求推出相对独立的系统。此类烟囱式系统^[10]以流程自动化为中心,预先确定流程场景,通过自动化提升服务效率,但其存在业务响应能力有限、部分功能重复、业务核心缺乏固化沉淀的缺点。因此,构建多航天器综合评估系统需遵循如下原则:

(1)系统运行由评估场景驱动。评估场景指的是针对评估对象,基于指定的评估目的和时段,利用一系列工具方法完成的一系列评估工作。系统即可针对重复性常规评估任务编制通用评估场景,也可以针对个性化需求单独定制评估场景。评估场景的更新维护应当简单方便,且不会对其他业务场景产生影响。

(2)系统的通用评估能力应以组件或功能模块的形式进行封装复用,即方便功能共享和维护升级,又可避免重复建设系统。

(3)系统应实现数据资源整合功能,解决数据指标定义不同带来的歧义问题,达到充分使用异构基础数据资源的目的。

(4)系统架构应便于快速建设和部署,而且在推倒重建时不会耗费太大的人力和时间成本。此外,其还应该具备灵活的扩展机制,可以为新的业务模块提供扩展点,并应用于复杂的业务流程。

基于上述分析结果,本文提出了基于中台架构的多航天器综合评估系统构建方法。

3 中台技术的特点分析

中台的概念源于美军作战体系演化过程,“美军作战阵型”在二战时以军为单位作战,到越战时缩减至以营为单位作战,而到了海湾战争期间,则采用了以7人或11人为单位的班排结构,其凭借的是强大的军事指挥中台,其提供了强有力的空军精准轰炸、舰艇远程打击、超强的救援与补给能力等。现代战争的一个基本趋势是,随着“战场-基地-本土”效率系统日趋完善,前线作战单元越来越小,但战斗力却越来越强,这正是源于其后强大的中台能力。

目前,较为明确的中台定义是,通过将后台应用在技术平

台的支撑下进行封装或者重构,从而形成面向业务场景的共享服务以支撑前台业务快速创新的平台。前台和后台与中台相区分,前台直接对接使用者,因此需要快速响应用户业务需求,并实现快速创新和快速迭代。后台对应于系统的后端平台,其价值在于存储和计算企业的核心数据。

中台技术由阿里巴巴公司^[11-13]在2015年根据自身业务需要首先提出,此后滴滴、腾讯、百度、京东等各大互联网公司陆续提出各自的中台战略和解决方案,这些中台方案体现出如下共同特性。

(1)面向前台业务:中台的核心目标是更好地服务前台规模化创新,进而更好地响应服务引领用户,使企业真正做到自身能力与用户需求的持续对接。

(2)能力服务化:将系统的通用化能力进行抽象和组件化,通过接口的形式赋能到外部的业务场景,供业务场景按照标准化的形式进行接入和开发,从而达到通用化能力共享的目的。

(3)数据规范化:通过数据治理,采用统一的数据标准体系,实现所有业务数据的汇集、复用和沉淀,形成核心数据资产。

4 多航天器综合评估系统的中台架构设计

4.1 系统架构

基于航天器测控管理部门的发展实际,本文设计了“前台轻量、中台共享、后台支撑”的多航天器综合评估系统中台架构,其突出平台化共享思维^[14],强化服务复用能力,提升评估业务响应效率,以期形成创新信息服务能力。

如图1所示,多航天器综合评估系统由评估前台层、业务中台层、数据中台层和数据后台组成。评估前台负责直接对接使用者,业务中台层和数据中台层共同组成数字中台,支撑前台提供从场景编排、评估分析到产品发布的闭环服务。数字中台对内连接数据后台的异构数据资源,诸如测控数据、测控资源、任务日志、管理信息等。

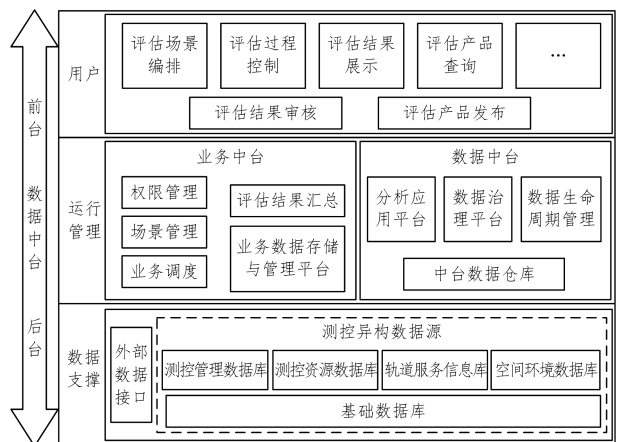


图1 多航天器综合评估系统架构

Fig. 1 Architecture of multiple spacecraft comprehensive assessment system

4.2 评估前台

按照图2所示的评估需求响应过程,评估前台提供轻量化的评估业务交互功能,旨在让使用者集中精力于准确描述评估需求并响应反馈评估结果,而无须在评估过程的技术细节和琐碎信息上花费过多时间。

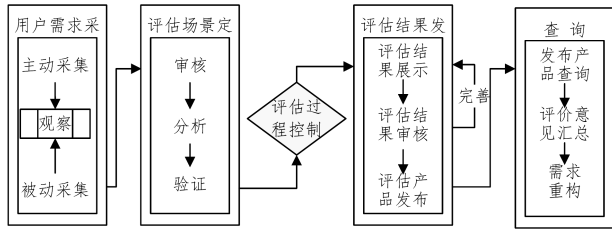


图2 评估需求响应流程

Fig. 2 Demand response process

多航天器综合评估系统的评估前台主要包括以下功能组件。

评估场景编排:该组件基于场景分解封装的思想,提供菜单下拉或模块拖拽等图形化配置方式编排场景的功能。

评估过程控制:该组件提供评估场景执行过程的启动、中断和调试等操作的功能。

评估结果展示:该组件主要提供文本、列表及可视化图表等类型的评估结果展示功能。

评估结果审核:该组件主要提供在多人协同工作模式下的评估结果维护和审核功能,以满足定量与定性相结合的评估任务需求。

评估产品发布:该组件主要负责向用户推送依据审核评估结果形成的多航天器综合评估产品。

评估产品查询:该组件主要提供历史评估产品的查询和分析对比功能。

考虑到多航天器综合评估场景组成要素众多,关联关系复杂,因此评估场景定制组件不仅需要具备历史场景或场景模板复用的功能,而且需要具备通过拼装通用子场景以快速编排场景的功能。通用子场景是评估场景的标准化业务构建零部件,这里以太阳能电池阵输出性能评估为例,给出了子场景的描述方式,如表1所列。

表1 LEO卫星太阳能电池阵输出性能的评估子场景

Table 1 Sub scenario of solar array output performance evaluation for LEO satellite

执行顺序	组件要素	内容	序列关系	内容设置说明
1	评估对象导入	航天器列表	顺序执行	未设置时,默认与场景一致
2	评估时机导入	时段列表	顺序执行	
3	轨道预报	参数设置列表	顺序执行	
4	星体遮挡面积计算	参数设置列表	顺序执行	
5	太阳辐射计算	参数设置列表	并行执行	未设置时,选取默认列表
6	地球反照辐射计算	参数设置列表	并行执行	
7	输出功率预报	参数设置列表	顺序执行	
8	输出功率衰减率计算	参数设置列表	顺序执行	
9	指标评估	模糊规则	顺序执行	若功率大于100W且年衰减率小于3%,则正常;否则,异常

4.3 业务中台

业务中台是评估前台层与数据中台层联动的“齿轮”。因此,业务中台一方面需要按照评估场景驱动数据中台开展评估工作,另一方面需要汇总生成评估结果提供给评估前台。业务中台层的组成架构如下。

(1)权限管理组件,向中台运行管理人员提供前台功能组件的使用权限管理功能。一般情况下,前台功能组件的使用权限有如下划分。

评估分析员:具备评估场景定制、评估过程控制、评估结果展示和评估结果查询的使用权限;

评估分析师:具备评估结果审核的使用权限;

项目负责人:具备评估产品发布的使用权限。

(2)场景管理组件,主要完成以下功能。

子场景编排:子场景的编排需要首先对重复业务场景片段进行抽象和提炼,之后将通用子场景与数据中台的分析应用组件进行功能和接口对接。此项工作一般由中台运行管理人员负责开展。

场景自动编译:实现将评估场景自动化编译为评估业务调度流程。

场景资源管理:主要用于子场景和评估场景的存储和管理。

(3)业务调度管控组件,主要负责接收并执行前台的过程控制指令,完成数据中台分析应用资源的自动化调度。

(4)评估结果汇总组件,主要完成数据中台分析数据的汇集和整理。

(5)业务数据存储与管理平台,负责提供评估过程数据的存储和管理功能。

4.4 数据中台

数据中台层的作用是将测控管理部门系统的异构核心数据资源汇聚起来,作为每个数据应用的唯一数据来源,以此获取评估分析结果并提供给业务中台使用。其基本思想是通过“连接”降低数据资源的使用门槛。数据中台层的主要功能如下:

(1)评估分析应用平台,主要负责提供稳定、易用、高质量的通用分析工具集,用于实现单项指标量化、多指标综合和可视化分析功能。此外,评估分析应用平台还负责提供用于特定业务处理的分析应用组件的开发和扩展功能。评估分析应用平台的功能架构如图3所示。

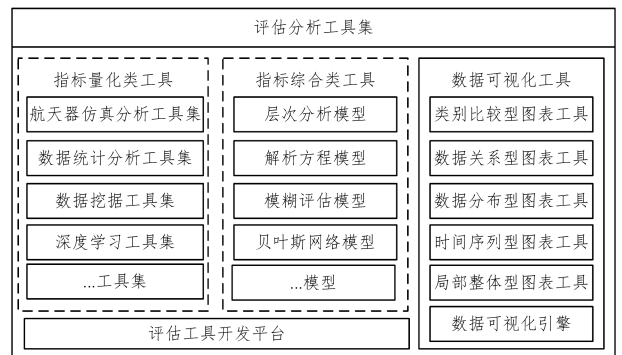


图3 评估分析平台功能架构

Fig. 3 Evaluation and analysis platform functional architecture

(2)数据治理平台,旨在通过建立规范的数据应用标准,消除异构数据不一致的情况,以提高数据质量,并形成核心数据资产,其功能架构如图4所示。

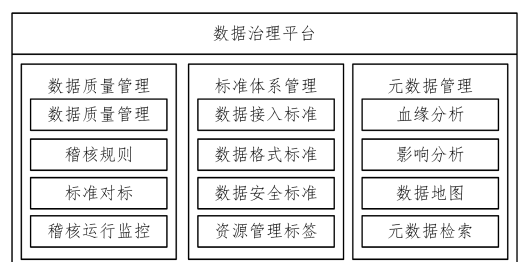


图4 数据治理平台功能架构

Fig. 4 Functional architecture of data governance platform

数据治理平台主要完成如下功能。

标准体系管理:中台数据标准一般基于国标数据元与编码标准建设,包括数据接入标准、命名标准、数据格式标准、数据安全标准、资源管理标签等多个方面。

元数据管理:元数据(meta-data)是评估系统中有关数据定义、目标定义、转换规则等方面的关键数据,元数据包括业务元数据、技术元数据和管理元数据。元数据管理组件可帮助数据开发人员理解数据关系和相关属性,了解数据资产分布及产生过程,实现元数据的模型定义并存储,并提供元数据分类和建模、血缘关系和影响分析,方便数据的跟踪和回溯。

数据质量管理:数据质量管理组件负责根据标准规则完成数据质量检测、错误数据修正和劣质数据查询处理等工作。

(3)数据生命周期管理平台:该平台按照数据采集、数据清洗、数据融合、数据分析挖掘、数据应用、数据归档、数据销毁的标准化处理流程,提供数据 ETL、工作流调度等工具,同时还负责提供数据模型管理和数据开发等功能。数据生命周期管理平台功能架构如图 5 所示。

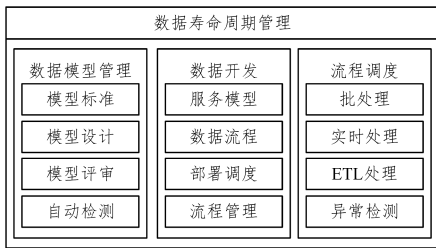


图 5 数据生命周期管理平台功能架构

Fig. 5 Functional architecture of data life cycle management platform

(4)中台数据仓库:数据仓库负责针对标准化数据资源、分析应用数据和原始数据数据资源提供安全、高效的管理和访问功能。数据仓库功能架构如图 6 所示。

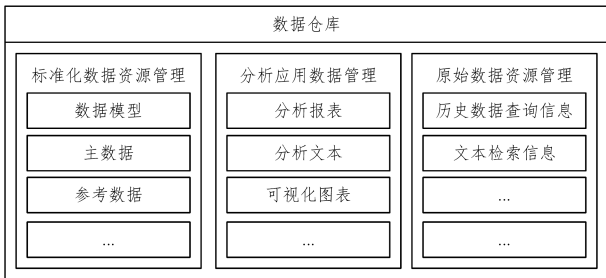


图 6 数据仓库功能架构

Fig. 6 Functional architecture of data warehouse

4.5 数据后台

数据后台层是多航天器综合评估系统的后端平台,负责为数据中台提供数据支撑。数据后台层由测控管理信息、测控资源调度、轨道信息服务等基础数据库以及外部数据接口组成,这些数据资源没有统一的数据格式规范,相互之间没有联通,数据更没有整合,无法直接向评估前台提供数据服务,也无法通过快速的技术改造来响应前台需求的变化。

4.6 系统建设及部署方式

建设多航天器综合评估中台不仅要搭建一套软件系统,还需要通过数据治理和数据生命周期管理来营造测控管理部门的数据生态。显而易见,上述工作不是短期就能完成的,须结合业务实际情况分阶段逐步实施,无须将所有重构工作齐

步推动,否则既会增加复杂性,又会提高风险,还不能及时得到反馈。本节给出了多航天器综合评估中台的建设步骤,如图 7 所示。

(1)制定标准和搭建系统:搭建面向中台技术开发者的能力开放平台,以此承载业务前台与中台之间的数据通讯标准和信息交互流程。

(2)业务建模和能力输出:抽象标准业务模型,并设计标准组件接口(Application Programming Interface, API),即应用程序编程接口。

(3)业务改造和数据迁移:基于业务模型和组件接口,对业务系统进行改造,并实现数据的结构化迁移。

(4)业务创新:面向信息服务需求,创新业务应用。

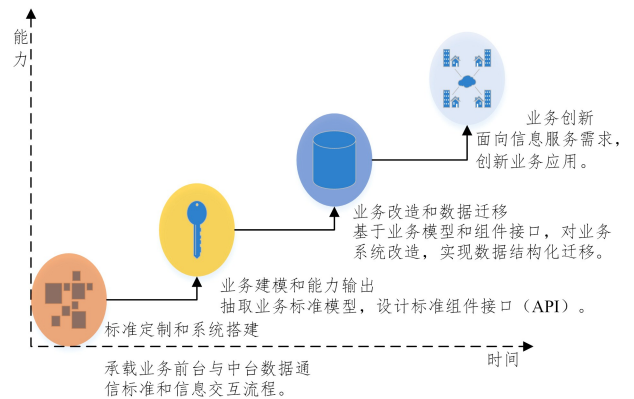


图 7 多航天器综合评估中台建设步骤

Fig. 7 Construction steps of multiple spacecraft comprehensive assessment platform

系统部署一般采用集中部署模式和分布式部署模式。集中部署模式可将数据资源、软件系统和硬件设备等集中存储和安装。集中式部署具有资源集中、统一管理、维护方便、数据实时性高等优点,但系统比较脆弱,一旦服务器出现故障时,将导致整个系统停止工作,多航天器综合评估中的评估场景定制、评估结果展示和评估结果查询等工作将全部陷入瘫痪。

分布式部署模式可根据业务划分,结合应用场景在不同的服务器上分散存储和安装数据资源、软件系统,利用计算机网络将分布的数据资源、软件系统联系到一起,实现互相通信和数据交换共享。该模式在系统开发、软件维护、数据管理等方面具有较强的便捷性,有利于增强系统对需求变更的适应性,还可以增强系统的健壮性,部分业务系统出现故障不会导致整个系统瘫痪。多航天器综合评估系统建设对系统的健壮性要求较高,而系统数据实时性相对较低,要适合于不同级别用户、不同业务需求的多样性,以及业务深度和广度拓展带来的个性化需求等实际,因此多航天器综合评估系统的部署更适合采用分布式部署模式。系统部署拓扑如图 8 所示。可以看出,系统主要部署在多个服务器上,其中数据存储服务器分布在多个服务器上,由多台数据库服务器共同服务业务和数据中台处理;业务中台和数据中台按照属性分布在不同的处理服务器上,实现多事务并行处理,保证用户的业务分析评估得到快速处理。外围接口数据处理服务器针对数据来源方向和数据类型分为文件传输服务器、实时数据通信服务器和数据采集服务器等。

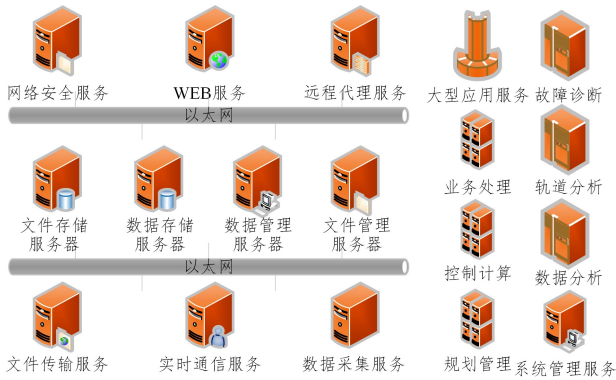


图8 多航天器综合评估系统的部署拓扑

Fig. 8 Deployment topology of multiple spacecraft comprehensive assessment system

业务应用时,前台业务场景通过业务逻辑层流程,调用相关业务中台服务和数据中台服务,无缝地接入数据存储,形成业务分析处理;数据存储时,通过外围数据接口处理服务器将不同的数据分布在不同的物理数据库服务器,供不同的业务处理使用。

结束语 多航天器综合评估工作涉及诊断维修、应用效能、项目论证、性能分析等类型的评估场景。这些评估场景由于属于相同的业务领域,因此可以抽象并提炼出通用化的评估流程、评估方法以及数据处理方法。基于通用能力共享的思想,本文设计了基于中台架构的多航天器综合评估系统,该系统旨在借助通用化评估能力和统一的数据标准,将异构数字资源与评估场景有效地连接起来,以实现评估需求的快速响应和评估服务能力的迭代升级。该架构避免了软件系统的重复建设,可通过组件功能扩展促进信息服务能力的迭代升级,对航天器测控管理部门完成数字化转型具有一定的参考和指导价值。

参考文献

- [1] CHEN H G, QIN D G, LI Y Z. Study of Basic Theorem and Method for Military Satellite Systems Effectiveness Evaluation [J]. Journal of Institute of Command and Technology, 2001, 12(2):27-30.
- [2] DONG Z C. Research on Integrated Health Management System of Spacecraft [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2013, 7:41-42.
- [3] HU L, LI H, YAN S Q, et al. Building of Operational Effectiveness Evaluation Index System of Early Warning Satellite System [J]. Fire Control & Command Control, 2016, 56(3):273-277.
- [4] WU J M, LING X D. A New Evaluation Method for Spacecraft Project Test [J]. Telecommunication Engineering, 2015, 40(5):65-73.
- [5] ZHOU X Y, CHEN H, AN X D. Analysis of Galileo Signal Quality and Positioning Performance [J]. GNSS World of China, 2018, 43(1):19-24.
- [6] WANG D X, GUO R, XIE J S, et al. Combined Clock Error Prediction Model and Accuracy Evaluation of BeiDou New Generation Navigation Satellite [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2018, 47(s0):61-70.
- [7] WU H, WANG Y. Simulation and coverage analysis of the constellation of the MEO satellite communication system based on STK [J]. Electronic Design Engineering, 2017, 25(22):120-123, 127.
- [8] WANG Y M, SHAO L M. BeiDou Navigation Satellite System III Service Performance Simulation Evaluation [J]. Ordnance Industry Automation, 2018, 37(5):12-15, 35.
- [9] HU X F, DONG X R, LIU Y T, et al. Analysis on service performance index of Beidou navigation system [J]. Modern Electronics Technique, 2013, 36(11):16-18.
- [10] LI W J, YANG X Q, DU J X. Equipment support data integration based on OPDS [J]. Systems Engineering and Electronics, 2020, 42(6):1317-1323.
- [11] SU M, JIA X S, DU X M, et al. Research on the Recent Development and Future Trends of Data Mid-End Technology [J]. Frontiers of Data and Computing, 2019, 1(5):116-126.
- [12] LI B S, HU Q G, CHEN X F, et al. Research and Design of Data Platform for Power Grid Enterprise [J]. Electric Power Information and Communication Technology, 2019, 17(7):29-34.
- [13] XIN Y, HUANG W S, LUO Y W, et al. Research on Data Resource Retrieval of Enterprise Data Center Platform Based on Graph Database [J]. Modern Information Technology, 2019, 17(7):6-10.
- [14] LI W W. Research on the Application of D PaaS Technology in Business System [J]. Modern Information Technology, 2019, 3(21):108-110.



LIU Fan, born in 1978, senior engineer. His main research interests include spacecraft TT & C management and spacecraft health management.