

某卫星工程地面系统一体化任务中心建设

李 军¹ 孙海忠² 瞿荣贵¹

(1. 北京跟踪与通信技术研究所, 北京, 100094; 2. 中国卫星发射测控系统部, 北京, 100011)

摘要: 针对卫星管理和应用中测控、运控、应用等系统各自建设部署带来的管理分散、架构不统一、系统间人工协调频繁等问题, 介绍了某卫星工程地面系统一体化任务中心建设。主要说明了任务中心一体化云计算系统架构、两层扁平网络架构、平台+插件软件架构和一体化任务流程, 以及任务中心基础平台可靠性与适配性建设中的关键技术。通过统一技术架构实现共性资源统筹调度、各类数据统管统用, 通过中心内部统一管理实现任务全流程监视和设备全系统运维。任务中心满足设计要求, 平台稳定可靠, 业务流程协调, 工作自动高效, 图像产品优质, 实现了测控、运控、应用、站网管理的一体化运行。

关键词: 一体化任务中心; 云计算体系; 平台插件; 数据总线; 可靠性技术

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-2615(2019)S-0139-06

Integrative Construction of the Satellite Ground System Mission Center

LI Jun¹, SUN Haizhong², QU Ronggui¹

(1. Beijing Institute of Tracking and Telecommunications Technology, Beijing, 100094, China; 2. China Satellite Launch and Tracking Control General, Beijing, 100011, China)

Abstract: The separate construction of measurement and control system, operation control system and application system of satellite project can bring about problems such as manage fragmentation, inconsistent system architecture and frequent artificial communication among systems. This paper introduces the integrative construction of the satellite ground system mission center. The integrative cloud computing system architecture, flattened two-layer network architecture, platform and plug-in software architecture and integrative workflow are introduced. The key technology in building reliability and adjustability of basic platform in the mission center is described. By the uniform technology architecture, the common computing and storage devices are scheduled as a whole resources, the various data and products are shared and managed, and the entire task flow and devices' status in the mission center are monitored. The integrative mission center achieves the designed purpose. The platform is steady and reliable, the operation is automatic and highly efficient, and the image products are legible and exact. The measurement and control system, operation control system, application system and stations management system are uniformly managed and operated together in the mission center.

Key words: integrative mission center; cloud computing hierarchy; platform and plug-in; data bus; reliability technology

卫星的管理和应用通常由测控系统、运控系统和应用系统协作完成。测控系统接收卫星遥测数据并进行处理, 确定卫星轨道, 监视卫星运行状态,

上注卫星指令, 实施卫星工程测控和业务测控^[1]。运控系统按照卫星应用行业需求, 分析梳理工作任务, 统筹优化, 生成卫星有效载荷控制计划和数据

收稿日期: 2019-04-09; **修订日期:** 2019-06-20

通信作者: 李军, 女, 副研究员, E-mail: lijun_jjv@163.com。

引用格式: 李军, 孙海忠, 瞿荣贵. 某卫星工程地面系统一体化任务中心建设[J]. 南京航空航天大学学报, 2019, 51(增刊): 139-144. LI Jun, SUN Haizhong, QU Ronggui. Integrative Construction of the Satellite Ground System Mission Center[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2019, 51(S): 139-144.

接收计划,通过测控系统上注指令执行,监控观测任务执行流程和状态。应用系统进行卫星观测需求制定,接收卫星观测数据,进行数据管理和信息处理,生成各级卫星图像和业务产品并分发给用户^[2]。运控系统需要协调地面设备接收卫星载荷数据,测控系统要通过地面设备完成卫星指令上注,因此需要站网管理系统对地面站进行统一管理。

测控系统、运控系统、应用系统和站网管理系统通常各自建设,并部署于相应的业务中心,各系统体系架构不统一、相对固化,导致系统的共性资源管理过于分散、数据产品的共享共用水平较低;各系统之间虽有接口能够获取相关信息,但缺少对任务的全流程监视和设备状态的全系统监控;业务系统分散管理带来系统间人工协调频繁、任务快速响应能力不足等问题。

本文介绍了某卫星工程地面系统一体化任务中心建设,通过统一技术架构实现共性资源统筹调度、各类数据统管统用;通过整合功能、优化模式,建立从卫星观测需求筹划与受理、观测任务规划、卫星测控与载荷管控,到卫星数据接收与处理、卫星图像产品分发的任务流程,实现测控、运控、应用、站网管理的一体化运行;通过中心内部统一管理实现任务全流程监视和设备全系统运维。

1 体系建设

1.1 一体化系统结构

任务中心采用云计算体系结构,构建一体化的软硬件技术支撑平台,将计算、存储等资源虚拟化,设计统一的资源池,根据测控、运控、应用、站网管理等业务系统的需要动态分配资源,降低各类业务对特定资源和服务的依赖性,提高任务中心的资源融合度,更好地应对后续的规模和业务扩展^[3]。任务中心体系结构如图1所示。

任务中心一体化系统结构由硬件基础支撑层、服务层和应用层组成。硬件基础支撑层由网络通信、计算处理、数据存储、终端操控、综合显示、安全网管、时间统一和专用计算、存储等设备组成,为任务中心提供基础硬件平台;在硬件基础支撑层部署运维系统,能够实现中心内部设备状态的全系统监控。服务层采用银河麒麟云平台(KylinCloud)将通用的计算处理和数据存储等设备构建统一的虚拟计算和存储资源池,为任务中心各业务系统按需提供通用计算、云存储、负载均衡等服务,以及操作

系统、数据库管理系统等基础软件服务。应用层主

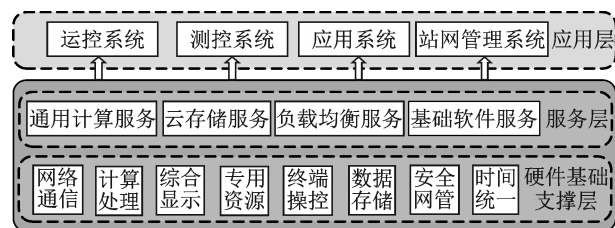


图1 任务中心一体化系统结构

Fig.1 Integrative system architecture of mission center

要由运控、测控、应用和站网管理等业务系统组成,协作实现任务中心的各项功能。

对部分业务如高速数据接收处理和存储、数据库管理等采用专用的计算资源和存储资源,满足该部分业务高性能、强实时性等需求。

云计算架构实现了系统共性资源的统一管理和各类数据的统一存储,为任务数据和信息的高度共享、全面分析和深层挖掘提供大数据平台支撑。

1.2 一体化网络结构

任务中心网络采用核心+汇聚与核心+接入的两层扁平模式,使用一体化网络结构保证任务中心内部业务的互联互通以及任务中心与固定站、机动站之间的连接;同时设计对外服务域,部署业务延伸系统,以便外部用户能够通过安全机制获得任务中心提供的服务。任务中心网络结构见图2。

网络核心层设置2台仰联高端数据中心级核心交换机,采用集群交换机系统(Cluster switch system, CSS)组网,下行链路选择40 Gb/s链路捆绑技术与汇聚交换机互联。汇聚层采用仰联数据中心级汇聚交换机,2台一组,采用堆叠技术,下行链路采用10 Gb/s链路连接计算设备、存储设备、地面站设备等,上行链路选择40 Gb/s链路捆绑技术,上联到2台核心交换机。

工作站、PC机、打印机等终端设备通过仰联接入交换机连接到核心交换机,接入交换机上行10 Gb/s链路,下行1 Gb/s链路。

任务中心数据库服务器和时统设备连接到核心交换机,链路分别为10 Gb/s和1 Gb/s。

外部用户通过卫星通信/地面链路以广域路由方式与任务中心互联,经由任务中心防火墙接入,只能访问任务中心的对外服务域,不允许直接访问任务中心内网,所需数据通过隔离设备从任务中心同步。

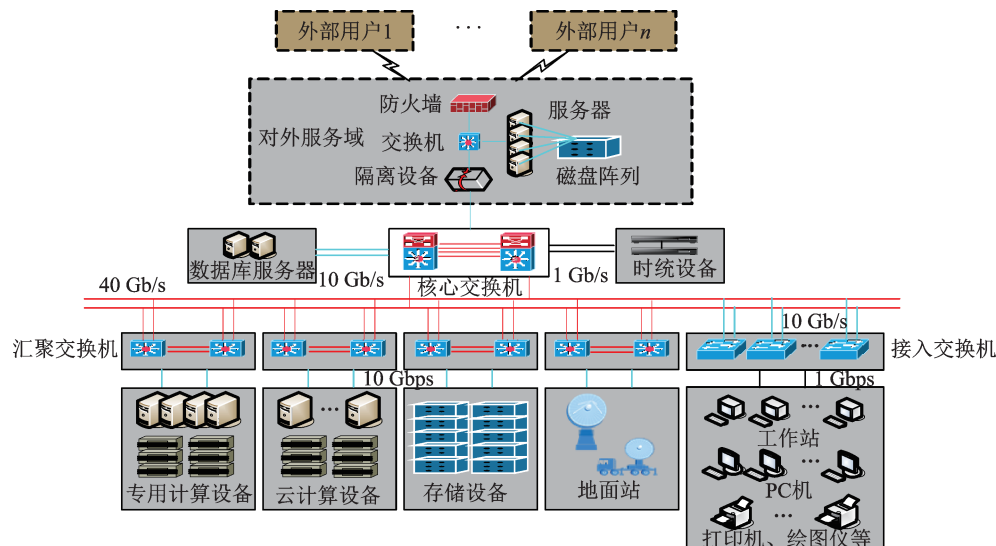


图2 任务中心一体化网络结构

Fig.2 Integrative network architecture of mission center

1.3 一体化软件结构

任务中心软件结构采用平台+插件机制^[2,4],构建基础平台,在统一技术体制下实现对星地资源、数据资源、服务资源和软件插件等资源的统一组织管理;作为数据总线为任务中心内部业务系统提供共性接口,实现各系统间的信息交互与数据流转;提供统一的用户和权限管理,实现身份互信机制,一次身份验证与鉴权,整个中心有效。

平台+插件机制结构清晰,易于调整重构,能够提高软件的复用性和封装性,降低系统内部耦合性,提高系统适应变化的能力,具备很好的可扩展性和后续升级能力。任务中心软件结构见图3。

基础平台由资源调度与管理层、数据组织与管

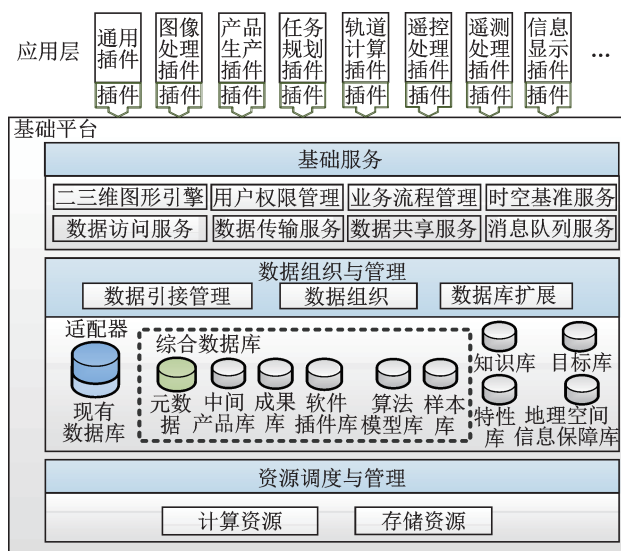


图3 任务中心一体化软件结构

Fig.3 Integrative software framework of mission center

理层和基础服务层组成,以标准的服务接口,向上为各类应用提供支撑。

资源调度与管理层通过统一的资源调度与管理中间件,实现计算和存储资源的统一调度。

数据组织与管理层提供原有数据库的适配接入,通过元数据库、中间产品、成果库、软件插件库、算法模型库等构建综合数据库,统一配置地理空间信息保障库、知识库、特性库等,通过数据引接、数据组织与管理中间件,向上层应用和服务提供数据访问和管理服务。

基础服务层提供业务流程管理、用户权限管理、数据访问、数据共享、数据传输、消息队列、三维图像引擎和时空基准等基础服务,通过集成框架为各类插件和应用提供服务 and 接口。

应用层集成各类业务处理插件,实现任务中心各类业务。

1.4 一体化工作流程

任务中心要面向内部操作管理人员、外部军民商等各类用户,受理卫星控制、卫星观测、资源使用、产品生产、信息服务等不同类型的请求,对地面站设备进行调度管理,因此对管理模式进行了优化,对工作流程进行了整合。一体化工作流程见图4。

应用系统统一受理不同来源、不同类型的用户需求,根据用户优先级、任务优先级进行需求统筹,对用户需求进行汇总和综合分析,完成多类用户需求的冲突检测,实现需求合并与调配,将卫星观测需求发送给运控系统。

运控系统受理卫星观测需求,进行观测任务、

数据接收任务的规划,生成卫星观测计划、载荷控制指令和数据接收计划并发送给测控系统;通过数据总线获取卫星任务各个阶段的状态,实现任务的全流程监视。

测控系统根据卫星测控任务提出卫星平台管理要求,结合卫星载荷控制进行卫星综合管理和资源统一规划,向站网管理系统申请站网资源。站网资源分配确认后,测控系统将卫星平台指令和卫星

载荷指令统一生成卫星指令进行上注。

站网管理系统对地面站网进行资源统一调度,满足多用户多任务对地面站资源的使用需求,包括测控、数传、测控+数传等各类使用需求,将设备工作计划同时发送给测控系统、应用系统以及地面站,实现卫星指令注入、遥测接收处理、数传接收处理等操作的自动化运行。

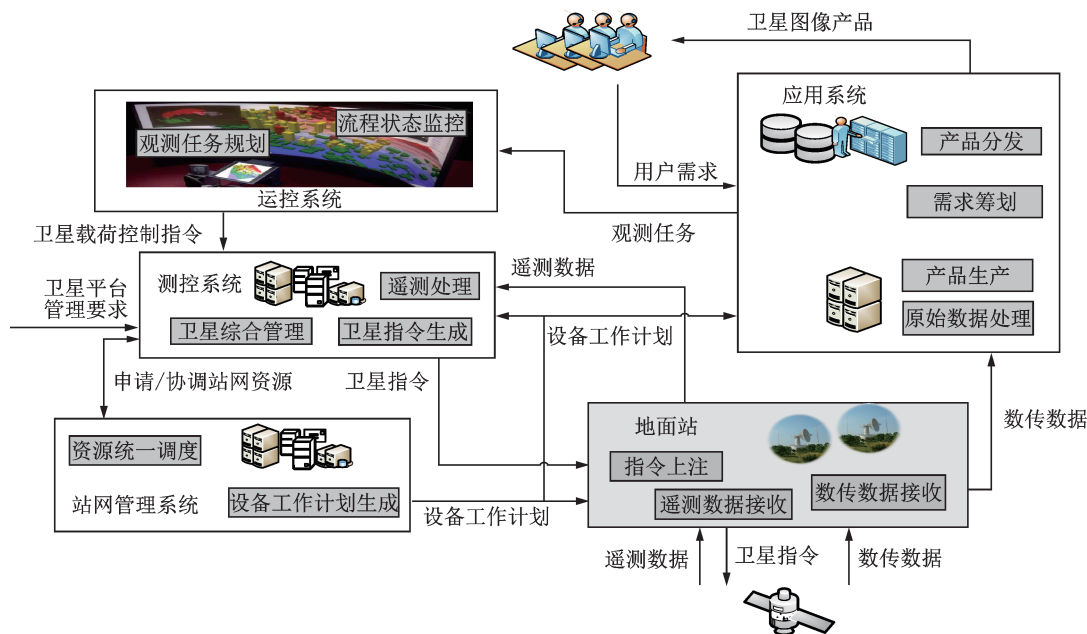


图4 任务中心一体化工作流程

Fig.4 Integrative workflow of mission center

应用系统对获取的原始数传数据进行自动化标准化处理,生成卫星图像产品并存储,提供用户进行浏览下载,并按需分发给用户。

一体化工作流程提高了卫星在轨运行效益和业务应用的共享融合,各业务系统之间通过数据总线进行需求提交受理、计划发送接收、资源申请反馈等信息传输,最大限度降低了人工协调的频繁度,增强了任务的快速响应能力。

2 可靠性建设

一体化任务中心结构复杂,提供的服务繁多,实现的功能强大,必须要保证中心业务的连续可靠运行。任务中心在物理机层、云管理层和虚拟机层3个方面进行了可靠性建设。

在物理机层,核心交换机、汇聚交换机和关键链路采用CSS/iStack+Trunk无环以太网技术,通过设备冗余和链路冗余,实现设备故障或链路故障时的快速切换,保证网络的可靠性。数据库服务器使用Oracle集群模式,实现负载均衡、故障容错和

无缝切换,保证关键数据访问的可靠性^[5]。网络时间协议(Network time protocol, NTP)服务器使用双机热备模式,在主机故障时自动切换到备机,保证系统授时的可靠性。

在云管理层,云平台管理功能由多台物理服务器承担,采用管理节点高可用机制和负载均衡策略,只要有1台管理服务器正常,即可保证云管理平台的可用性;利用负载均衡策略对虚拟机进行动态分配,对物理机和虚拟机进行实时监控,根据负载和运行情况进行资源智能调度,避免负载过度或资源不足带来的异常;采用标准流程和校验机制进行虚拟机镜像制作,防止镜像被篡改;采用加密传输进行虚拟机迁移,杜绝安全隐患^[6]。

在虚拟机层,运行关键业务的虚拟机均配置为双机备份,主备虚拟机位于不同的物理机,通过2种模式保证虚拟机的高可用性,避免单点故障。模式1:采用keepalived机制设置双机为主机和备机,为主备机设置一个对外提供服务的虚拟IP^[7]。当一台虚拟机故障时,另外一台虚拟机主动接管故障

机的任务,保证虚拟机服务不中断。模式2:对于实时性要求较高的业务,部署专用的双工管理软件对主备机进行管理^[8]。主备机处于热备状态,同步运行相关业务,主机实施业务控制和信息发送。双工管理软件实时监测主备机心跳和状态,当心跳或状态异常时,自动进行主备机切换并通知相关进程,保证关键业务不间断运行。

3 适配性建设

任务中心建设规模大,业务量多,对软硬件设备和系统性能要求高,建设过程中根据实际应用环境和模式进行了适配性修改和完善,解决了以下技术问题。

对 Oracle 数据库默认配置进行修改。由于任务中心业务量大,默认的 3 组 redo 日志组配置无法满足实际需求,日志切换过于频繁,影响服务器性能,出现运行卡顿现象。任务中心将每个真正应用集群 (Real application cluster, RAC) 节点的 redo 日志组增加为 8 组,日志切换频率降低至正常水平,满足了任务中心使用要求。

对网络和云平台配置进行适配性修改。任务中心路由、IP 地址等均为固定配置,因此将所有经过一段时间会自动重新学习的、可能发生老化的配置统一设置为永久有效,避免在重新学习过程中出现异常。具体修改如下:

银河麒麟云平台的 dhcp 服务管理虚拟机 IP 地址周期为 24 h,称为 IP 租期。IP 租期到期后,虚拟机会自动向 dhcp 服务发送续期请求,IP 续期时可能出现短暂的延时现象,造成虚拟机 IP 地址丢失,影响业务运行。任务中心将云平台内部虚拟机 IP 管理更改为虚拟机内部 IP 自我管理,由虚拟机网络配置文件进行静态 IP 设置,不需要定时等待云平台的 dhcp 服务进行处理,保证了 IP 地址的稳定及相关业务运行。

使用 keepalived 机制的两台服务器设置同一个 IP 地址对外服务。keepalived 机制使用的虚拟路由经过约 10 h 会重新学习,对外服务的 IP 地址将出现短暂失效。任务中心修改 keepalived 配置,禁止虚拟路由重新学习模式,保证 IP 地址永久有效。

仰联核心交换机地址解析协议 (Address resolution protocol, ARP) 提供了在 IP 地址和介质地址之间的动态映射,缺省情况下不配置静态的 ARP 缓存项,ARP 表经过一段时间会老化被删除。终端及服务器启动时,会向核心交换机发送

大量的 ARP 请求,导致核心交换板卡 CPU 繁忙,板卡和主控之间通信异常,带来交换板卡重启、核心网络短时中断等严重后果。任务中心在 ARP 缓存中建立一个永久表项,系统使用这一表项进行静态的 IP 地址和介质地址映射,保证网络稳定可靠运行。

对麒麟云平台开机流程进行调整。麒麟云平台开机时先启动本地存储 ceph 服务,然后启动集群时间同步服务。开机过程中当云平台集群节点出现时间向前跳跃的情况时,会导致 ceph 相关部分进程异常,带来云平台和虚拟机无法正常启动的后果。任务中心调整云平台开机流程,先进行时间同步,再启动 ceph,避免时间跳跃产生的异常情况。

4 结 论

某卫星工程地面系统任务中心按照测控、运控、应用、站网管理一体化设计并统筹建设,沿用了前期卫星工程地面系统的成熟技术,又在系统结构、软件结构、工作流程等方面进行了创新,优化了工作岗位,减少了各业务间的人工协调,提高了任务快速响应能力,大大增强了系统的使用效益。地面系统通过任务中心的一体化网络实现了各业务之间的互联互通,保证了各类计划信息以及卫星数据传输的安全性和时效性。建设过程中,通过在物理机、云管理和虚拟机等各个层面的可靠性措施和适配性完善,实现了任务中心稳定高效的运行。

任务中心圆满完成了卫星的在轨测试任务。自交付之后,系统运行稳定,业务流程协调,工作自动高效,图像产品优质,获得了用户的极大好评。

参考文献:

- [1] 夏南银,张守信,穆鸿飞. 航天测控系统[M]. 北京:国防工业出版社,2002.
- [2] 陈金勇. 航天对地观测运行机制与快速响应系统研究[J]. 无线电工程,2017,47(2):1-6,10.
CHEN Jinyong. Research on operating mechanism and fast response system of space earth observation system [J]. Radio Engineering, 2017,47(2):1-6,10.
- [3] 万俊伟,陈洪雁,赵静. 云计算技术在实时航天试验任务领域的应用验证[J]. 信息安全,2017(5):63-68.
WAN Junwei, CHEN Hongyan, ZHAO Jing. Appli-

- cation verification research of cloud computing technology in the field of real time aerospace experiment[J]. Netinfo Security, 2017(5): 63-68.
- [4] 孔庆玲. 基于插件技术的卫星数据接收管控系统设计与实现[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2014. KONG Qingling. The design and implementation of satellite data receiving management and control system based on plugins[D]. Xi'an: Xidian University, 2014.
- [5] 贾洪峰, 梁涛, 郭绍明. Oracle Database 11g RAC 手册[M]. 2版. 北京: 清华大学出版社, 2012.
- [6] 银河麒麟. 银河麒麟云白皮书 V2.1[M]. 天津: 天津麒麟信息技术有限公司, 2015.
- [7] 汪海洋, 凌永兴, 包丽红, 等. 基于 keepalived 的高可用性应用研究[J]. 电子技术, 2014(7): 21-23. WANG Haiyang, LING Yongxing, BAO Lihong, et al. Research on the high availability based on keepalived[J]. Electronic Technology, 2014(7): 21-23.
- [8] 任富新, 崔洪波. 麒麟操作系统下双机热备系统的设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2017, 53(S1): 244-247. REN Fuxin, CUI Hongbo. Design and implementation of time service software on Kylin OS[J]. Computer Engineering and Applications, 2017, 53(S1): 244-247.

(编辑: 夏道家)