

基于一体化云架构的测控中心系统设计与实现

尚慧萍, 陈 杨, 唐沛蓉

(北京跟踪与通信技术研究所, 北京 100094)

摘 要: 测控中心系统作为航天任务工程中的重要组成部分, 通常采用双机双工、服务器集群、磁盘冗余、数据备份恢复等技术来保障航天任务系统的持续运行和稳定可靠, 但同时存在软硬件紧耦合、资源共享效率低、系统扩展能力较差等问题, 所有这些限制了整个航天测控系统的发展。针对以上问题, 研究并设计基于一体化云架构的测控中心系统, 实现服务按需定制、资源共享互通、系统弹性扩展, 并已经过航天任务的实施检验。

关键词: 测控中心; 云计算; 虚拟化; 服务; 计算资源; 存储资源; 网络资源

中图分类号: TP302.1

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.222552

中文引用格式: 尚慧萍, 陈杨, 唐沛蓉. 基于一体化云架构的测控中心系统设计与实现[J]. 电子技术应用, 2022, 48(11): 110-114, 120.

英文引用格式: Shang Huiping, Chen Yang, Tang Peirong. Design and implementation of TT&C center system based on integrated cloud architecture[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(11): 110-114, 120.

Design and implementation of TT&C center system based on integrated cloud architecture

Shang Huiping, Chen Yang, Tang Peirong

(Beijing Institute of Tracking, Telecommunications and Technology, Beijing 100094, China)

Abstract: As an important part of aerospace mission engineering, the tracking, telemetry and command (TT&C) center system currently adopts technologies such as duplexing, server clusters, disk redundancy, data backup and recovery to ensure the uninterrupted operation, stability and reliability of the aerospace mission system. But there are also such problems such as software and hardware tight-coupling, low resource sharing efficiency, and poor system expansion capabilities, all of which limit the development of the entire aerospace TT&C system. Regarding these problems, in this paper a TT&C center system based on integrated cloud architecture is studied and designed. The system is implemented on-demand customization of services, resource sharing and interoperability, and flexible expansion. Moreover the system is verified by actual aerospace missions.

Key words: tracking, telemetry and command center; cloud computing; virtualization; services; computing resources; storage resources; network resources

0 引言

测控中心系统是航天测控工程中的关键系统, 在航天任务中通过测控设备、通信网络, 利用中心计算机系统的数据处理系统、数据存储系统、监控显示系统与测控网网管系统, 实施对航天器的测量与控制、测控信息的监控与显示、测控计划的生成与实施、各参试人员的指挥与调度等^[1]。目前航天任务中心系统已建立了以数据处理服务器、数据库服务器、磁盘冗余、双机管理和备份管理等软件为核心的信息系统^[2], 如图 1 所示, 重要数据都能及时和有效地得到备份, 结合数据处理服务器的双机双工技术、数据库服务器的集群技术、磁盘阵列 RAID 技术, 解决了单点故障的风险, 使任务中心系统为航天测控任务提供持续和有效的服务。但随着航天任

务的逐步开展, 测控中心系统能力方面的问题逐渐显现出来, 表现在以下几个方面^[3]:

(1) 测控系统柔性不足, 硬件系统与业务应用紧耦合, 各业务系统自成体系;

(2) 软硬件资源分配和重组不灵活、资源共享不充分;

(3) 系统的互连互通能力较差, 适应新业务的可扩展能力有限。

针对以上问题, 在满足系统可靠性和实时性要求的同时, 测控中心系统迫切需要设计一种安全可靠、弹性灵活、易于运维的架构。因此, 面向服务、按需定制的一体化云架构的测控中心系统应运而生。本文就此描述系统的架构设计和具体实现。

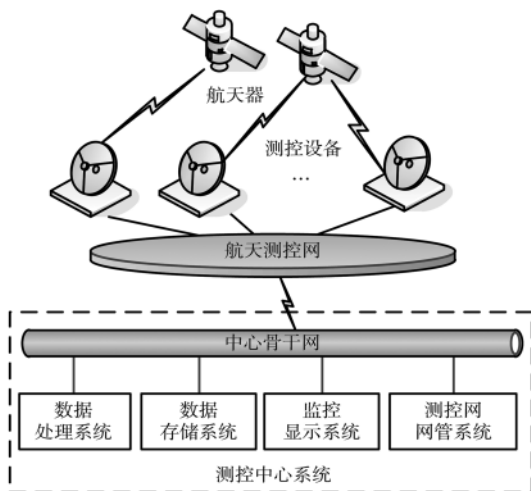


图 1 测控中心系统的典型结构图

1 系统设计

1.1 系统架构

系统架构如图 2 所示,主要由资源层、服务层和应用层三层组成。资源层基于云计算和虚拟化技术实现计算、存储、网络、显示等基础资源的融合共享^[4]。服务层基于面向服务技术实现数据处理、数据存储、轨道计算、仿真、综合显示等系统功能的服务化、组件化。应用层基于智能定制技术实现各类业务系统的服务模型与服务流程的快速构建与灵活扩展。

1.1.1 资源层

资源层由计算、存储、网络、显示等硬件基础设施组成,通过虚拟化技术将底层物理设备的资源以服务的方式提供给用户,并通过云管理平台实现对物理资源与虚拟资源的有效监控,实现智能化的资源性能、容量和配

置管理。

1.1.2 服务层

服务层负责上层应用与云管理平台的交互^[5],不同业务可根据各自需求获取不同的接口和服务。为了灵活调配资源,提高支持各项业务的能力和效益,需要合理设计中心系统的云服务,充分整合现有系统的功能。

1.1.3 应用层

应用层以资源层和服务层为基础,直接面向各业务系统和用户,各业务和用户以服务层提供的软件服务为基础,按需定制业务模型和服务流程,并根据计算、数据存储和网络的需求,分配计算和存储资源以及网络服务。

1.2 系统组成

系统由资源层上的计算资源、存储资源、网络资源、显示资源、辅助资源、一体化云管理平台、服务层软件以及应用层软件组成,如图 2 所示。

1.2.1 资源层

计算资源包括各类计算硬件资源和虚拟化管理软件^[6],以及承载在虚拟机上的多种粒度的服务软件,实现云资源分配、服务管理、状态监控和日志管理等。

存储资源包括存储硬件资源以及承载其上的数据存储管理软件、各类业务数据等。

网络资源主要由高可用交换网络组成,实现各系统或资源之间的信息传输。

显示资源包括显示系统和承载其上的业务显示或用户交互软件。

辅助资源包括机柜、多屏切换套件、操作终端等辅助设施。

一体化云管理平台通过虚拟化技术将物理资源进行虚拟化,具体为计算虚拟化、存储虚拟化、网络虚拟化

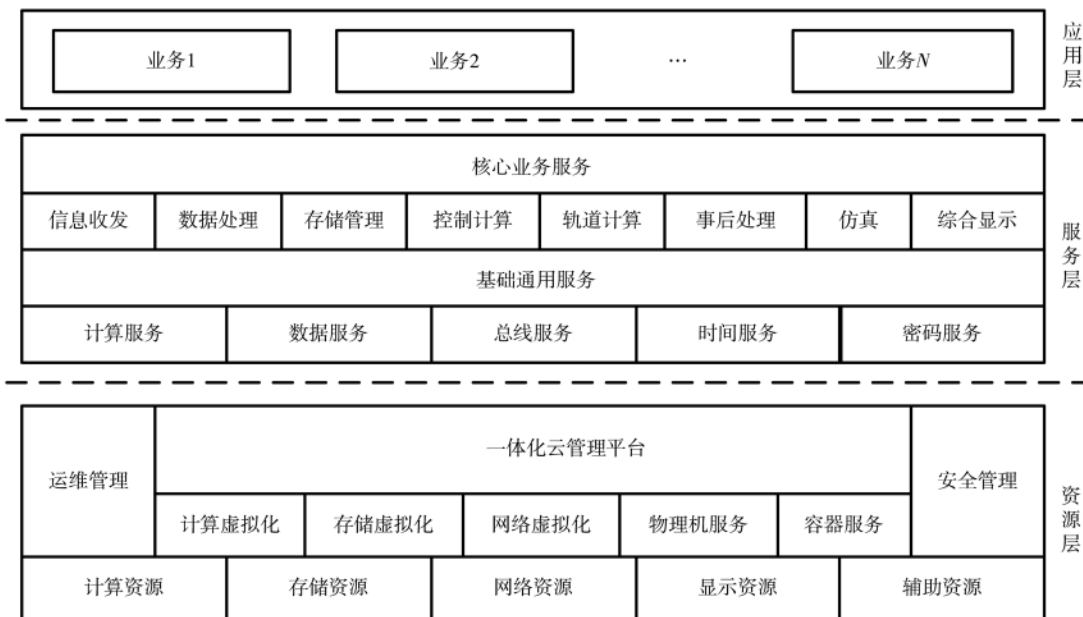


图 2 系统架构及组成示意图

等^[7],实现在单一物理服务器上运行多个虚拟服务器(虚拟机)或容器^[8],把应用程序对底层的系统和硬件的依赖抽象出来,从而解除应用与操作系统和硬件的耦合关系,使得物理设备的差异性与兼容性与上层应用透明,不同的虚拟机之间相互隔离、互不影响,可以运行不同的操作系统,并提供不同的应用服务。

1.2.2 服务层

服务层包括基础通用服务和核心业务服务。基础通用服务是为了系统运行管理提供的基础共性的服务单元,是核心业务服务实现的基础。核心业务服务是利用基础服务完成中心任务的业务模块单元,是为上层各项任务应用提供支撑的软件集合。

基础通用服务包括计算服务、数据服务、总线服务、密码服务等。其中计算服务为轨道计算、数据处理、故障诊断分析等提供通用计算、高性能计算、并行计算等功能,完成对各业务的计算和分析;数据服务实现对结构化、半结构化、非结构化等各类数据和配置信息的远程方法调用、提交、下载、更新等功能,为应用和用户提存取、访问、管理服务;总线服务为中心内部和外部系统提供统一标准的交互方式,内部网络采用消息中间件支持中心内部各子系统间的数据通信、协议转换、数据服务和计算服务,为上层应用提供安全可靠、功能完备、接口统一的数据传输服务;密码服务完成信息加解密服务和密码管理分发服务。

核心业务服务包括信息收发、数据处理、存储管理、轨道计算、控制计算、事后处理、模拟仿真和综合显示等。其中,信息收发完成中心系统对外的数据接收和发送、数据的汇集和转发以及中心内部的信息交换;数据处理完成遥测、外测数据处理、遥控加工及发送等功能;存储管理完成原各类原始测控数据和计算结果的存储、对数据的管理和维护等;轨道计算完成轨道确定、精密轨道计算和轨道预报等功能;控制计算完成航天器各类控制参数的计算处理功能;事后处理完成遥测事后处理和外测事后处理;仿真包括航天器仿真、空间环境仿真、航天器飞行轨道仿真以及测控网仿真等;综合显示用于监视设备工作状态,检查、传送指挥员的命令和控制信息,并为指挥控制人员、专业技术人员提供各种数据、图像、语音等信息显示。

1.2.3 应用层

利用资源层和服务层提供的基础平台和服务支撑,应用层是对系统功能进行业务逻辑组合建立的测控云服务模式,针对业务应用建立的操作流程。应用

层通过 PC 端、移动端等响应用户服务请求,并实现用户界面功能。

2 系统实现

2.1 系统部署

按照一体化云架构建设测控中心计算机系统,包括资源层、服务层和应用层。资源层由计算资源、存储资源、网络资源、显示资源、系统管理、基础软件以及配套设施等组成。通过虚拟化和云技术将底层物理设备的资源以服务的方式提供给服务层和应用层软件使用。系统部署如图 3 所示。

2.1.1 计算资源

计算资源主要由一组高性能服务器集群组成,完成中心系统的实时信息收发、事后信息收发、对接收的外部数据进行相关计算处理(包括遥外测数据处理、轨道计算、资源调度等),为完成航天器指令、数据注入等提供计算能力的保障。

通过云平台管理动态分配计算资源,以实现服务器集群的负载平衡。在云计算资源设计上,以服务器虚拟化技术为依托,将用户对应的业务系统部署至虚拟化环境中,旨在提高物理服务器资源利用率,保障业务系统连续性,同时具备对物理机资源和云计算平台系统的统一监控。

按业务特点划分,轨道计算、数据处理可归为计算

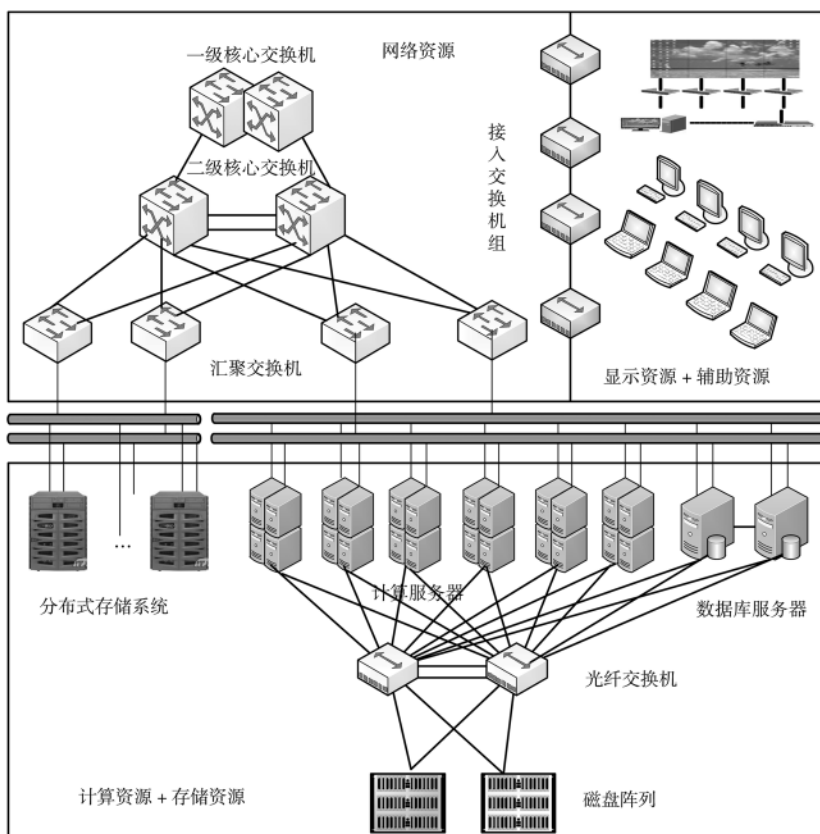


图3 系统部署示意图

密集型业务,对 CPU 资源要求很高;信息收发、数据存储可归为标准型业务,对 CPU 资源要求较高,同时对网络 I/O 及数据存储资源也有较高的要求;运行管理以及显示服务可归为非计算密集型业务。计算资源的虚拟机部署规划如表 1 所示,实际应用中可根据使用情况动态添加 CPU、内存、网络 I/O 和磁盘等资源。计算资源通过虚拟化和云计算技术,创建应用虚拟机,完成数据处理、轨道计算等功能,满足不同应用条件下的资源需求。

2.1.2 存储资源

存储资源完成各种实时数据、事后处理数据的存放,提供数据检索、查询等功能。它由数据库存储系统和分布式存储系统组成,实现应用数据共享,实现结构化数据与非结构化数据的统一管理,实现实时数据、准实时数据和事后数据的分级服务。

存储资源的部署规划采用混合部署的方式,即采用分布式云存储系统和 FC-SAN 存储系统。分布式云存储系统将平台中所有节点的存储容量进行统一规划和部署,形成一套高可靠、高性能、高扩展的统一存储服务系统。其核心是底层的分布式存储引擎为上层提供块存储和文件存储功能,这种全分布式的存储架构可以使整个系统具有很强的可扩展性。FC-SAN 存储系统由数据库服务器、磁盘阵列和数据库管理系统等组成,用于存储结构化数据,使重要业务数据通过数据库进行数据管理、查询等出入库操作。还有云平台数据包括虚拟机映像模板和副本、虚拟机操作系统实例、虚拟机实例快照、虚拟机运行数据、应用软件运行数据等,支撑着整个云平台及业务系统的正常运行。

2.1.3 网络资源

网络资源由核心交换机、汇聚交换机和接入交换机组成,形成业务网、数据网、管理网三网相对分离的网络体系,减少不同网络间的相互影响,提高系统的可用性和可维护性。

云平台网络使用中心系统的各类网络设备,按照功能规划为 3 个网络平面:管理网络平面、业务网络平面和存储网络平面。管理网络负责整个云平台的管理和控制,业务网络承载云平台上的业务数据,存储网络承载云平台中与存储相关的业务。

为满足服务器、存储等资源互联传输性能要求,确保网络通信的稳定性,需要配置核心交换机、汇聚交换机和接入交换机,为服务器和操作终端接入使用。配置光纤通道交换机用于计算资源服务器到存储磁盘阵列的连接。

中心网络设计划分为业务网络、存储网络和管理网络。为了保证各种网络数据的可靠性,业务和管理网络间采用 VLAN 技术进行隔离,存储网络为光纤存储网络,单个网络故障不影响其余两个网络的正常工作。

(1)业务网络:主要是用业务网卡包括虚拟机虚拟网卡的通信平面,对外提供业务应用数据的交互。

(2)存储网络:主要为 FC-SAN 存储提供通信平面,并为虚拟机提供存储资源。

(3)管理网络:负责整个云计算系统的管理、业务部署、系统加载等流量的通信。

2.1.4 显示资源

显示资源由显示系统、信号处理系统、集中控制系统等组成,主要实现计算机信号、视频信号、设备控制信号等的统一接口、统一传输,可针对不同业务指挥需要,按需分配数字大厅资源,通过设备配置实现多功能数字大厅的灵活共享配置使用,满足不同地点、地域指挥需要。

显示资源的作用是为系统管理员提供远程登录并操作云管理平台作运维管理、用户管理的人机交互;为任务操作、监视、指挥人员提供用于任务管控、综合运行管理、测控数据、任务规划等信息的综合显示和操控。

LED 大屏显示器通过信号切换设备可实现对外部视频画面和指定终端显示视频内容的选择切换显示。

显示终端的显示信息来源于数据库、云管理平台,通过综合监控显示软件响应用户的操作需求,定制用户所需要的显示结果,发送给指定的显示终端。

2.1.5 辅助资源

辅助资源主要包括机柜、KVM 切换器以及操作终端等。机柜和 KVM 切换器用于安装部署服务器、磁盘阵列、交换机等设备,操作终端用于远程管理计算资源、存储资源以及网络资源等。

2.1.6 系统管理

云管理平台主要由虚拟化引擎和云计算管理软件组成。虚拟化引擎提升了服务器利用率,从而大大降低了服务器数量,进而降低了用户成本^[9];云管理平台软件简化了物理和虚拟环境中的服务器管理和应用部署^[10]。平台具有虚拟机迁移、复制、备份、快照、虚拟交换机等功能,拥有虚拟机迁移、虚拟 CPU 容错、高可用(HA)、热添加等技术作为高可靠措施,提升系统的可靠性和容灾能力。

云管软件采用虚拟化技术统一建设并整合硬件资源(包括计算、存储、网络等物理环境和设备,是整个云平台的物理支撑基础),对虚拟化资源池提供统一管理

表 1 计算资源部署规划表

规格	vCPU/Core	内存/GB	硬盘/GB	应用部署
非计算密集型	16	32	150	一般性的业务压力,如运行管理
标准型	32	64	200	较繁忙业务压力,如文件系统、原始数据入库等
计算密集型	64	128	300	繁忙类、重负载业务压力,如轨道计算等

和安全防护,提供统一的计算资源服务、存储资源服务、网络资源服务、综合管理服务和安全控制服务。

系统管理采用高性能服务器部署云平台,为整个云平台提供计算支撑。所有服务器按照功能分为控制节点和计算/存储节点。控制节点负责管理整个系统中计算节点的控制,管理着云平台的虚拟机运行以网络配置;计算节点负责运行虚拟机,并执行实际的计算任务。

2.2 系统测试

系统安装部署完成后进行了测试验证。系统测试包括功能、性能测试以及稳定性考核。功能性能测试完成服务器测试、终端测试、交换机测试、光纤存储设备测试、分布式存储设备测试、云管理平台系统测试、云桌面测试、数据库测试、消息中间件测试、双工管理软件、时间服务软件等测试,测试结果均满足各业务要求。稳定性测试丢包是对系统虚拟机和实体机的网络组播进行100 h 稳定性测试,测试结果组播网络数据收发正常,满足网络错包率(含丢包、乱序)不大于 10^{-7} 。

在云平台性能测试中,业务虚机的网络收发出现丢包现象,为解决云平台组播性能问题,满足测控业务的指标要求,即在万兆网络环境下,组播带宽利用率在70%以上,网络无丢包。对云平台进行改进优化,利用数据平面开发套件(Data Plane Development Kit,DPDK),提供用于快速数据包处理的函数库与驱动集合;通过环境抽象层旁路内核协议栈、轮询模式的报文无中断收发、优化内存/缓冲区/队列管理、基于网卡多队列和流识别的负载均衡等多项技术,实现了高性能报文转发能力,提高数据处理性能和吞吐量。如表2所示,在万兆网络下用网络收发软件测试虚拟机之间的UDP性能,测试时长10 min,在1 KB、4 KB、64 KB不同包长下,可看出极限接收流量值分别为5 017 Mb/s、9 511 Mb/s和9 451 Mb/s。

表2 虚拟机间组播性能测试记录表

包长/ KB	包频/ (包/s)	发包数	收包数	接收流量/ (Mb/s)	丢包数
1	574 520	326 017 039	326 017 039	5 006	0
	575 417	328 139 035	328 139 035	5 017	0
	576 521	325 303 571	325 275 634	5 025	27 937
4	285 413	213 702 375	213 702 375	9 503	0
	285 655	213 821 428	213 821 428	9 511	0
	286 615	210 798 534	210 763 579	9 522	34 955
64	18 068	14 205 068	14 205 068	9 439	0
	18 081	14 223 044	14 223 044	9 451	0
	18 097	14 009 257	13 988 934	9 463	20 323

服务层和应用层软件部署后进行了测控各业务的测试验证,并经过实战任务的检验,结果表明,测控中心云系统设计先进合理,运行稳定可靠。

3 结论

测控中心系统按新的架构实施建设后,实现新一代体系结构转型,形成系统动态重组、数据灵活共享、全域调度指挥、智能业务决策的空间操控中心,在体系架构扩展、系统资源共享、业务能力生成、运行模式优化等方面取得显著的建设效益。

(1) 一体化云架构松耦合易扩展

中心一体化云架构系统实现平台资源一体化、服务应用一体化、信息接口一体化、协同运行一体化,最大限度降低了系统内层级之间功能的耦合度以及各类业务对特定资源和服务的依赖度,提高了体系的资源融合度和规模扩展的适应性。

(2) 系统资源共享灵活运行可靠

计算、存储、网络、显示等基础资源利用云技术,通过软硬件的共享和冗余机制,统一为上层的服务和应用提供支撑,对中心业务的连续运行和灾难的快速恢复具有较好的适用性,既促进了平台资源的高效利用,也确保系统的高可靠运行。

(3) 业务能力持续增强

在航天器在轨管理等成熟能力的基础上,基于一体化云架构,动态重组资源,按需定制服务,可实现系统功能的服务化,规范服务模型,提高重用水平,并利用成熟服务,少量开发新型服务,基于统一的集成框架,快速构建各业务系统,可确保业务能力的持续增强。

(4) 运行模式不断优化

随着云架构的深入应用以及业务服务智能化水平的不断提高,将形成“紧贴业务需求、需求牵引业务、业务统筹计划、计划驱动实施”的运行新模式。

目前基于云架构的测控中心系统采用的是X86架构的国产服务器,不是国产芯片服务器,仍存有安全隐患。随着自主安全技术的快速推进,提出了对测控中心系统要完全自主安全的更高要求。所以,下一步的主要工作是做好纯国产硬件和自主安全软件的适配和定制,满足测控中心系统信息传输、处理、存储、显示等方面的需要,全面实现测控中心系统的自主安全。

参考文献

[1] 于志坚.航天测控系统工程[M].北京:国防工业出版社,2008.

[2] SHANG H P,JIA Y,WANG J X.An integrated architecture for satellite control center system[C]//Advanced Materials Research,2014,951:269-273.

[3] SHANG H P,WANG J,X,ZHAO J X.Design and implementation of SCC system based on Cloud architecture[C]//Proceedings of 2019 the International Conference on Artificial Intelligence and Advanced Manufacturing(AIAM2019),2019,1:200-205.

[4] 卢利利.高校科研私有云架构模式[J].电子技术与软件

(下转第120页)

本文则采用粒子群算法来优化小波变换 5 种参数的选取,获得对当前测井数据去噪效果最好的小波变换参数,在测井信号处理这种大数据多样性的问题中占有优势。本文使用改进的 PSO 算法来获取小波变换去噪的最佳参数,并将其应用到套管深度识别中,得到更好的去噪结果,有效地提高了去噪测井信号的信噪比,更好地实现了有用信号和无用噪声的分离,为勘探领域测井数据的去噪提供一种新的方法。

参考文献

- [1] 李维松,许伟杰,张涛.基于小波变换阈值去噪算法的改进[J].计算机仿真,2021,38(6):348-351,356.
- [2] 朱荣亮,陶晋宜.基于改进小波阈值去噪算法的心电信号处理及仿真[J].数学的实践与认识,2019,49(5):143-150.
- [3] 谢政宇,刘学广,张巩,等.使用小波去噪的步态加速度信号预处理[J/OL].武汉大学学报(信息科学版):1-10 [2022-10-17].
- [4] 陈晋音,陈治清,郑海斌,等.基于 PSO 的路牌识别模型黑盒对抗攻击方法[J].软件学报,2020,31(9):2785-2801.
- [5] 李赫,印莹,李源,等.基于多目标演化聚类的大规模动态网络社区检测[J].计算机研究与发展,2019,56(2):281-292.
- [6] 陈超,张志昂,丁丽君.一种改进粒子群优化算法的多机器人地图拼接方法[J].电子技术应用,2020,46(12):139-143.
- [7] 钟臻,张楷旋,吴贞龙,等.基于改进的 LDW 粒子群算法的风-火电力系统联合优化调度策略[J].电力大数据,2017,20(10):50-55.
- [8] 华勇,王双园,白国振,等.基于惯性权重非线性递减的改进粒子群算法[J].重庆工商大学学报(自然科学版),2021,38(2):1-9.
- [9] 邢雪.基于自适应惯性权重 PSO 图像分割方法研究[J].自动化技术与应用,2019,38(2):87-91.
- [10] 文婉滢,李智.基于小波区域阈值去噪的 MWC 优化还原算法[J].电子技术应用,2018,44(11):64-67,71.
- [11] 刘光达,王依萌,胡秋月,等.基于小波变换和模极大值法的癫痫发作检测与分析[J].电子技术应用,2019,45(4):74-77,82.
- [12] DAHSHAN E S E. Genetic algorithm and wavelet hybrid scheme for ECG signal denoising[J]. Telecommun. Syst., 2011, 46(3): 209-215.
- [13] KENNEDY J. Particle swarm optimization[M]//Sammur C Encyclopedia of the Sciences of Learning. Heidelberg, Germany: Springer, 2011: 760-766.
- [14] SUNDARAY M, TRIPATHY A K, TRIPATHY S K. A new algorithm based on particle swarm optimization for application in holographic coupler[J]. Optik, 2020, 208: 164551-164551.

(收稿日期:2022-05-26)

作者简介:

魏振华(1981-),女,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向:智能信息处理和地质信息解释。

胥越峰(1998-),男,硕士研究生,主要研究方向:大数据与智能信息处理。



扫码下载电子文档

(上接第 114 页)

- 工程,2020(4):194-195.
- [5] 田延杰.基于云服务的架构设计[J].电子技术与软件工程,2019(21):162-163.
- [6] 柳罡,陆洲,胡金晖,等.基于云架构的天基信息应用服务系统设计[J].中国电子科学研究院学报,2018,13(5):526-544.
- [7] 王隆杰,梁广民,王金周.华为云计算 HCNA 实验指南[M].北京:电子工业出版社,2018.
- [8] 顾炯炯.云计算架构技术与实践[M].北京:清华大学出版社,2015.
- [9] 陈国良,明仲.云计算工程[M].北京:人民邮电出版社,

2016.

- [10] 郑叶来,陈世峻.分布式云数据中心的建设与管理[M].北京:清华大学出版社,2013.

(收稿日期:2022-01-10)

作者简介:

尚慧萍(1968-),通信作者,女,博士,副研究员,主要研究方向:航天测控系统和信息系统,E-mail:hpsang@163.com。

陈杨(1978-),男,博士,副研究员,主要研究方向:航天测控系统和信息系统。

唐沛蓉(1982-),女,硕士,助理研究员,主要研究方向:航天测控系统和信息系统。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所