

基于工程化方法的卫星通信地面站系统平台健康管理研究

雪 晴, 林宇生, 寇 阳, 张永池, 张 静, 王少飞

(中国电子科技集团公司第五十四研究所, 河北 石家庄 050081)

摘 要: 以卫星通信网络领域的工程实践为依据, 结合当前系统运行过程中存在的相关问题, 以典型卫星通信地面站系统为研究对象, 研究健康管理理论在卫星通信地面站系统平台的工程化应用方法。结合地面站系统的实际工作方式和 workflows, 对健康管理方式进行分析, 提出与实际设备及系统相结合的健康指标分类方式并给出具体示例, 提出与当前地面站系统实际管理现状相适应的故障诊断及预测方法、健康状态评估方法以及寿命预测方法, 为健康管理在卫星通信领域的工程化应用提出新的思路。

关键词: 卫星通信网络; 地面站系统; 预测与健康管理; 工程化方法

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-8930.2021048

Research of Health Management on Satellite Communication Earth Station Platform Based on Engineering-Oriented Method

XUE Qing, LIN Yusheng, KOU Yang, ZHANG Yongchi, ZHANG Jing, Wang Shaofei

The 54th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Shijiazhuang 050081, China

Abstract: Based on the practical experience in satellite communication network field, considering the existing problems in current system, regarding the typical earth station platform as research object, this paper did research of health management on satellite communication earth station platform based on engineering-oriented method. The analysis for health management mode was conducted associated with practical work mode and flow path, then, a typical indicator data classification way was proposed based on inservice equipments and system, and we showed some examples. Finally, the fault diagnosis and prognostic method, the health assessment method, and the prognostic method for remaining life were proposed considering the real situation of our satellite communication system, which was an advanced thought for engineering-oriented health management method on satellite communication network field.

Keywords: satellite communication network, earth station system, PHM, engineering-oriented method

1 引言

卫星通信地面站系统是卫星通信网地面无线电通信部分的核心环节, 支撑着载人航天、卫星发射、导弹试验等多种任务的卫星通信线路数据传输。预测与健康管理 (Prognostic and Health Management, PHM) 技术聚焦于复杂工程的健康状态监测、预测和管理, 在传统系统监控、故障诊断以及可靠性保障的基础上, 强调早期故障预测、智能故障诊断、健康状态评估、寿命预测及视情维修, 近年来在飞机、汽车、大型装备等领域大量应用, 大幅提升了各类系统的维护效率和可靠性水平。由于卫星通

信网中的大部分通信设备由电子元器件构成, 与机械部件相比, 能够反映系统健康状态的数据指标较少且采集难度较大。

2 PHM在卫星通信领域的研究现状、具体内涵及应用阻碍

2.1 PHM在卫星通信领域的研究现状

目前在卫星通信领域, 还没有相关文献及资料明确阐述健康管理概念的应用。通过对国外各大卫星通信公司的设备使用情况和相关资料的研究, 可以发现各公司

都通过设备自身的监控、通信系统的网络管理在一定程度上实现健康管理的一部分功能,并具有相对完善的健康管理机制和产品。通过智能化的检测手段、算法理论、传输机制做到自动化故障诊断、定位及处理,部分公司的设备能够实现远程设备巡检及故障诊断^[1]。Comtech公司的终端设备集成大量的健康管理功能,通过内置的智能化管理软件,对设备的各个方面进行状态监视和处理;设备提供约200个参数,其中性能监视、统计类参数超过50个。NewTech公司在卫星通信系统网络管理中实现健康管理的故障和性能管理功能,该功能侧重于链路级和网络级的健康管理,能够持续大范围地收集设备的参数信息,同时定义由告警模板、告警服务等级、告警严重等级、告警管理处置方法等组成的一套完善的故障和性能处理方案。该方案能够对关口站进行前返向链路健康管理、功率管理、载波管理及冗余控制等,能够对终端站实现前返向链路信号等级、前返向链路服务质量、终端功率控制等健康管理功能。Calian科技公司的SED卫星通信系统开发了一套专门用来对射频系统进行健康管理的监视和控制系统。该系统基于设备参数的实时获取及虚拟化的模型定义和封装技术构建健康管理指标体系,可实现上行功率控制、功率保护、自动化的设备倒换、信号监视等功能。通过虚拟化设备定义和模型定义,可自动实现系统复杂的重新配置过程,特别是其具备将多个站点的共性设备虚拟为一台设备的能力,通过实时的健康状态监视实现站间设备的手动或自动倒换。

我国对于健康管理在卫星通信领域的研究刚刚起步,在现役卫星通信系统中,已经构建了由卫星通信设备、地面站监控管理、网管中心及运行控制中心组成的多级分层管理体系,在系统维护中起到了重要作用。在目前的多级分层管理体系中,由地面站监控管理软件承担设备健康管理功能,站级监控管理软件能够实现设备参数实时监控、参数异常告警、开关自动倒换等基础功能,但缺乏有效的信息融合、关联分析、理论算法和故障知识库,在设备发生故障、地面站运行性能下降时,难以提供有效的技术支撑和智能的自动化处理手段。卫星通信网络运行控制管理侧重于通信网络正常运行情况下的网络拓扑管理、用户管理、资源管理、日志管理,具备信令收发状况和部分业务流量的统计功能,但同样缺乏地面站设备信息、网络信令、业务传输等相互之间状态信息的融合及关联分析、理论算法和故障知识库,在网络运行出现频繁入退网、信令拥塞、业务传输能力变差等问题时,不能提供有效的问题解决手段,只能进行事后的统计分析。总体来说,我国在卫星通信领域的健康管理仅实现了基础的监控管理、简单故障告警及处

置功能,距离PHM理论中涉及的故障预测、智能化故障诊断、健康状态评估、寿命预测及视情维修等核心管理还存在较大差距。

2.2 PHM在卫星通信网中的具体内涵及应用阻碍

PHM的核心管理内容包括故障诊断及预测、健康评估、寿命预测以及视情维修等。由于卫星通信系统的大部分设备由高精密的电子元器件组成,在将PHM应用到卫星通信系统的过程中存在一些明显的问题及阻碍。以下对PHM在卫星通信网络中的具体内涵及应用阻碍进行分析说明。

PHM中的故障诊断及预测、健康评估、寿命预测以及视情维修的具体管理内涵不同。故障诊断及预测指故障发生前的预先告警及故障发生后的故障原因分析;健康评估指对卫星通信网络中的设备、地球站、网络及整体系统进行健康状态的评估,对评估对象的当前健康状态、任务执行能力及任务执行时可能发生的故障风险进行分析;寿命预测指对卫星通信网中的硬件设备、地球站等对象进行剩余使用寿命的预测;视情维修指综合故障诊断、健康评估以及寿命预测的结果,根据设备具体情况,进行是否维修以及维修规模决策。

健康管理各项管理内容的理论方法一般分为基于先验知识规则的方法和基于数据分析的方法^[2]。对于基于先验知识规则的PHM管理方法,需要掌握故障机理,明确健康指标及指标间内在联系,总结寿命衰退规律。目前我国对于卫星通信网络中设备及整体系统的各类机理研究刚刚起步,仅能通过电流、电压、温度、风机转速以及一些基础的通信业务指标对设备进行基础故障判别和健康评估,欠缺对整体卫星通信系统的完备故障树梳理分析。对于基于数据分析的PHM方法,虽然在实际的卫星通信系统运行过程中已经积累了大量的历史数据,但这些数据大部分属于运行时的实时监控数据和业务数据,欠缺对于历史数据的发生条件和相关故障标记,无法知晓历史数据对应的系统状态;同时欠缺对于设备及系统健康状态数据及剩余寿命数据的相关积累。

无论是基于知识规则的PHM方法还是基于数据分析的PHM方法,在工程实现中都存在相当大的困难,原因如下。

第一,卫星通信网络涉及的分系统繁多且专业性较强,各领域专家往往只能针对系统局部进行有限的故障机理分析,而对卫星通信系统的完备故障机理分析需要各分系统领域专家和PHM领域专家互相配合,且需要管理人员对各类型专家进行系统组织,开展卫星通信领域PHM分析工作。

第二,支撑卫星通信领域的通信原理、微波理论、天线理论等已经成熟应用于各工程系统,各技术专家更

擅长工程实现，而PHM除涉及传统的可靠性学科理论，还涉及应用数学、统计学以及人工智能等领域。将PHM应用于卫星通信网络时，涉及电子信息技术、微波通信技术、网络通信技术等多种专业学科理论，对技术人员提出了更高的理论水平要求。

第三，卫星通信网络是高可靠性系统。在实际系统运行过程中，严重故障发生概率小，而频发微小故障一般在系统运行的可靠性要求容忍范围之内，所以虽然国内已具备卫星通信系统多年实际运行的工程经验，但是仍然欠缺对于故障模式和故障发生经验的相关案例积累。这造成PHM开发人员进行故障模式梳理时欠缺实际案例支撑。

针对当前PHM应用困难和卫星通信系统运行现状，需要研究一套工程化的PHM方法，使得PHM能够适应当前卫星通信网络的实际情况。

3 卫星通信地面站系统健康管理方式及流程

卫星通信地面站系统健康管理方法的研究应充分结合站内实际工作流程开展，在地面站日常工作流程中融合故障预测、故障诊断、健康评估、寿命预测、趋势预测以及视情维修等。地面站健康管理架构及内容如图1所示。

地面站系统工作阶段分为任务执行前阶段、任务执行阶段和非任务执行阶段，不同的工作阶段管理方式不同，管理过程以健康指标作为数据支撑，以各项管理内容的理论算法作为方法支撑。以下具体阐述系统工作阶段及对应的健康管理方式。

3.1 地面站系统工作阶段

(1) 任务执行前阶段

在地面站的标准管理流程中，在重大任务执行前会

进行一系列的系統巡檢及維護工作，一般要對設備及系統進行綜合健康體檢。綜合健康體檢的具體內容可根據需要進行配置，內容涵蓋設備在線指標測試、設備離線指標測試、設備和系統健康狀態評估、設備和地面站壽命預測等，能夠根據實際任務需求對需要體檢的設備和體檢內容進行有針對性的配置。

(2) 任務執行階段

在任務執行階段，由任務驅動衛星通信網絡各任務節點開展系統組網，由運行控制系統進行任務執行參數配置及下發，由網絡管理系統接收任務配置並執行具體配置參數，並將部分配置參數下發至衛星通信地面站。地面站系統根據上級網管下發的配置參數進行設備及站級系統配置，並執行系統任務。任務執行階段能夠開展的PHM管理項目包括設備及系統狀態實時監控、實時指標趨勢預測、實時故障預測、實時故障診斷及突發故障處置。

(3) 非任務執行階段

在非任務執行階段，地面站系統維護人員開展各項維護管理工作，以保證下一次任務執行時系統狀態良好。非任務執行階段以日、周、月、年為單位進行不同規模的管理。其內容包括設備定期巡檢、線下設備全指標測試、故障設備返廠維修、設備及系統健康狀態評估以及設備和地面站壽命預測等，其中巡檢數據、指標測試數據及維修記錄數據可作為健康評估的依據。

3.2 地面站健康管理方式及流程分析

以地面站系統的工作任務階段劃分為基礎，進行地面站健康管理方式劃分，依據實際系統中的使用需求及日常系統維護流程，將健康管理方式劃分為在線健康管

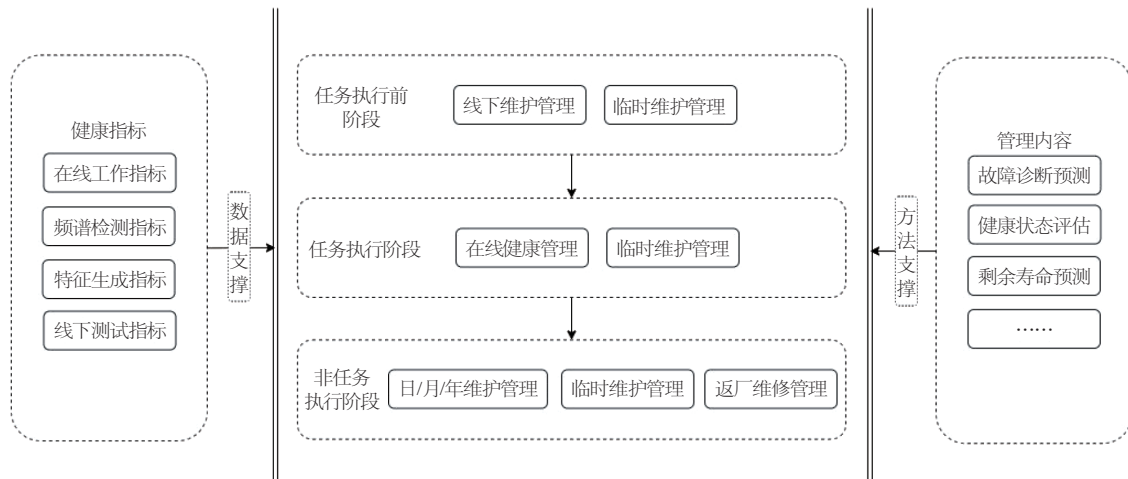


图1 地面站健康管理架构及内容

理、线下维护管理、日常巡检管理、月维护管理、年维护管理、临时维护管理以及返厂维修管理。健康管理的具体内容和管理流程如图2所示。

在线健康管理即只在设备在线工作状态下的健康管理,包括阈值告警、故障诊断、故障预测以及趋势预测。根据各类告警、诊断及预测结果选择是否进行线下维护管理,若需要进行线下维护管理,则对设备进行拆机下线,等待统一进行线下维护管理。

日常巡检管理指以天为周期对系统进行日常巡检,具体内容包括频谱异常监测、工作指标监测、特征生成指标监测、开关倒换记录监测等。根据各类监测结果选择是否进行线下维护管理,若需要进行线下维护管理,则对设备进行拆机下线,等待统一进行线下维护管理。

月维护管理指以月为周期对系统进行维护管理,具体内容包括在线外观除尘、健康评估管理、线缆巡检以及设备掉线巡检。根据各类巡检及评估结果选择是否进行线下维护管理,若需要进行线下维护管理,则对设备进行拆机下线,等待统一进行线下维护管理。

年维护管理指以年为周期对系统进行维护管理,具体内容包括开机壳除尘、全指标测试、特定设备保养、评估预测管理。根据各类巡检及评估结果选择是否进行线下维护管理,若需要进行线下维护管理,则对设备进行拆机下线,等待统一进行线下维护管理。

线下维护管理指在必要时对设备进行拆机下线,进行全指标测试及故障诊断,必要时对设备进行返厂。

临时维护管理指临时性对系统进行健康管理,如任务前的维护管理,特殊情况下的维护管理等。其具体内

容包括对系统及设备进行健康状态评估以及故障诊断,确认系统处于良好健康状态后开展各项通信任务。

返厂维修管理指对需要维修的设备进行返厂处理,返厂后由厂商再次进行全指标测试并进行故障诊断,即对损坏部件进行更换,对故障进行归零,出具归零报告。

在以上管理过程中,需保留日常巡检记录、月维护记录、年维护记录、线下维护记录、临时维护记录以及返厂维修记录。在各类记录中,积累系统和设备相关的频率异常数据、设备故障数据、部件更换数据、保养记录数据以及除尘记录数据等,并将这些数据反馈给健康管理系统进行各类评估及预测。

4 卫星通信地面站健康管理指标分类方法

4.1 典型地面站系统组成及指标类型分析

以单个天线为例,典型地面站系统组成如图3所示。

系统涉及的设备包括天线、天线控制器、跟踪接收机、高功率放大器、低噪声放大器、上变频器、下变频器、射频分合路器、各类倒换开关、中频切换矩阵、各型调制解调器终端等。具体设备见表1。

典型地面站系统指标类别以及健康管理方式如图4所示。

健康管理以系统所能提供的健康指标为基础,系统的健康指标分为四大类,分别是在线工作指标、频谱监测指标、特征生成指标以及线下测试指标。

(1) 在线工作指标

在线工作指标指设备在线时能够监测的工作指标,其中某些指标如输出电平、 E_b/N_0 、电流、电压、锁定状

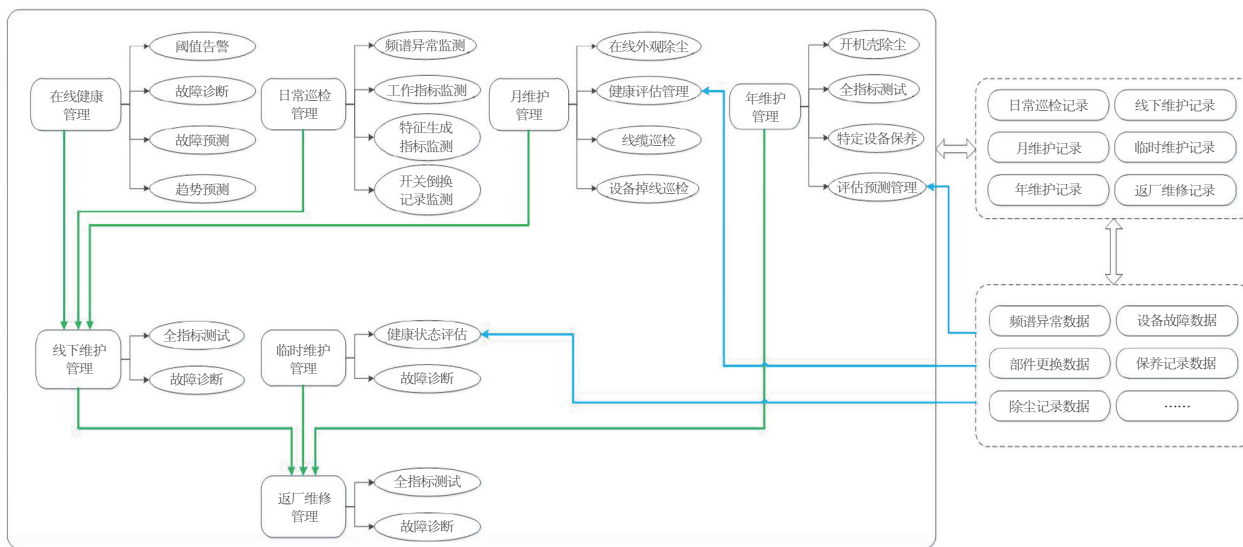


图2 健康管理的具体内容和管理流程

态等能够反映该设备是否处于告警状态。这些指标作为在线工作健康指标提示设备故障状态。

(2) 频谱监测指标

频谱监测指标指系统内各点探针的监测频谱是否处于正常状态。在系统任务执行前，先生成一套各探点所在位置的标准频谱图像；在进行巡检时，将当前频谱图像与标准频谱比较，若有明显差异说明频谱监测出现异常。

(3) 特征生成指标

特征生成指标指在在线工作指标的基础上，利用基本数学、逻辑及统计运算得到的特征指标。这些指标不由设备直接提供，而是由基本在线工作指标计算得出，如在线工作指标的主备机差异值，在线工作指标一天内的统计方差等。

(4) 线下测试指标

线下测试指标指设备拆机下线后在测试环境下的指标。设备在工作状态下的指标大部分属于任务系统指标，虽然能在一定程度上反映系统健康状态，但是对于具体设备内部的故障诊断是不足的；线下测试指标能够进行信号源输入、频谱仪测试以及网络分析等，能够全面反映设备状态，辅助完成设备故障诊断和维修。

4.2 地面站系统健康管理工程化方法

4.2.1 故障诊断预测

故障诊断预测以预置的故障规则为依据，根据指标

数据的状态值判别故障原因并对故障进行预测^[3]，目前我国在卫星通信网络领域的PHM故障诊断及预测还没有足量的数据积累，所以首选基于知识规则的故障诊断方法。当前国内对于卫星通信网络中的各类故障规则还没

表1 典型地面站系统设备

设备	说明
天线	XXX号XXX频段XXX米天线
ACU	天线控制单元
TRU	跟踪接收机
HPA1	XXX频段XXX W功率放大器
HPA2	XXX频段XXX W功率放大器
功放倒换开关	XXX频段XXX W功放倒换开关
UC1	XXX频段XXX MHz上变频器
UC2	XXX频段XXX MHz上变频器
上变频倒换开关	变频器1:1倒换开关
DC1	XXX频段XXX MHz下变频器
DC2	XXX频段XXX MHz下变频器
下变频倒换开关	变频器1:1倒换开关
LNA-倒换开关	低噪声放大器1:2开关
LNA1	低噪1
LNA2	低噪2
LNA3	低噪3
调制解调器1	调制解调器（主）
调制解调器2	调制解调器（备）

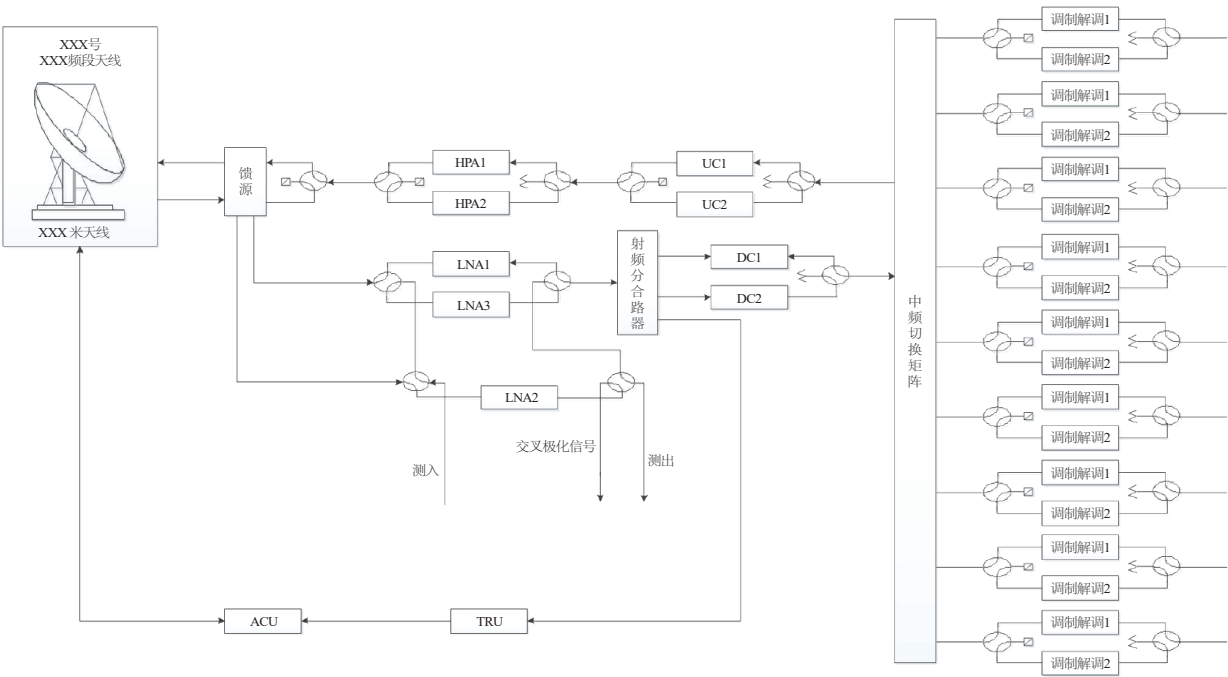


图3 典型地面站系统组成

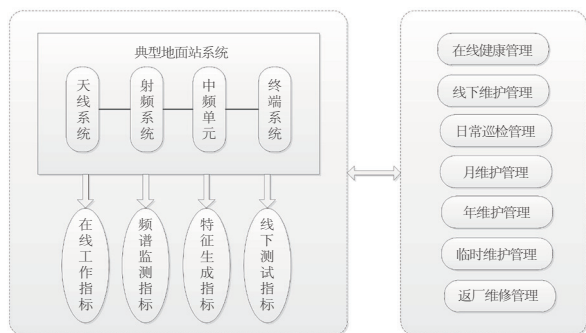


图4 典型地面站系统指标类别及健康管理方式

有进行系统的分析归纳，部分已归纳的故障树或其他类型的故障规则又没有足够的数据支撑，即监控数据无法支撑故障规则推理。以地面站系统为管理对象，当前的首要任务是要根据地面站实际可采集到的数据指标进行故障规则的归纳整理，充分利用当前可采集到的数据，对数据特征进行充分的利用和挖掘，才能为今后更加智能的故障诊断提供依据。

根据管理对象粒度大小的不同，将故障诊断预测的对象划分为单指标异常诊断及预测、单机故障诊断及预测、整站系统故障诊断及预测。

单指标异常诊断及预测对在线工作指标、特征生成指标以及频谱监测指标进行实时监控，设置分级告警阈值，同时利用各类人工智能领域的趋势预测算法对单指标的异常趋势进行判别及预测。当前典型地面站系统中主要有各设备电压、电流、温度的异常诊断预测以及各类告警状态的提示，同时对特征生成指标进行异常诊断预测，单指标异常诊断及预测涵盖全部A/B/C类指标。

单机故障诊断及预测分为线上和线下两种模式。线上单机故障诊断及预测利用A类指标进行推理判别，根据典型设备的典型故障模式，进行在线单机故障诊断。线下单机故障诊断利用线下测试指标，由领域专家进行细致诊断判别。线上诊断预测是自动化的，而线下诊断预测则需要专业技术人员参与开展。

整站系统故障诊断预测是线上PHM的管理内容，根据B/C类指标异常或趋势预测异常，提示产生系统故障；再根据单机故障诊断预测结果和单指标异常诊断及预测结果进行整站系统故障推理判别，以提前预置的系统故障规则为依据；最后给出由单指标到单机再到整站系统的完备故障原因分析。

单指标级、单机级以及整站级故障诊断预测不是分别独立的过程，而是一个整体流程，由不同类型的指标状态触发诊断或预测过程。对于当前的卫星通信地面站

系统，常见的故障模式总结如下。

(1) 上行链路输出功率异常

对主用功放的输出功率、主用功放开关状态、主用功放衰减、主用上变频器功率衰减、主用上变频器射频输出、调制解调器衰减、各输出开关进行监控，当主用功放输出功率出现异常（如大幅衰减或增加）时，综合各节点的开关状态以及功放衰减幅度判断主用功放的输出功率是否是正常变化，若不是正常变化，再进行后续系统故障诊断。

(2) 功率放大器过反射异常

对主用功放过反射状态、主用功放八模块电流、主用功放输出功率、备机过反射状态、备机八模块电流、备机输出功率、功放开关倒换历史记录进行监控。

①计算“输出功率/反射功率”，通过计算两者的比值判断是否反射功率过大，该比值变大指示后端天线部分可能异常阻挡功放信号（如波导进水或者有裂缝等），会造成上行频谱异常。

②监控输出功率、反射功率、输出功率/反射功率，设置合理阈值、监测变化趋势曲线，切换后诊断、切换前预警，如果输出功率、反射功率发生异常趋势，而二者比值没有明显异常，则提示由于人为操作或者前端信号异常导致的现象，应该在前端排查故障。

③“输出功率/反射功率”变小，导致功放切换，应结合天线部分的监控状态判断是否由于天线的损坏导致反射功率变大从而烧坏功放，如果这种情况发生，则应及时停机处理，以免备机也被烧坏。

(3) 设备断线异常

监控功放数据状态、功放倒换开关断线情况、上变频器倒换开关断线情况、上变频器断线情况、低噪倒换开关断线情况、下变频器倒换开关断线情况、下变频器断线情况、天线控制器（ACU）断线情况、跟踪接收机（TRU）断线情况、调制解调器断线情况，根据具体的网络连接拓扑，推断断线位置。

(4) 天线系统异常

对ACU信号电平、TRU跟踪状态进行监控，在出现异常时进行故障判别。

①当天气不好时，气象传感器上报数据异常，造成跟踪不准，应结合前端气象传感参数进行判断。

②天线自身故障导致跟踪状态失锁。

③ACU和TRU自身故障导致跟踪状态失锁。

(4) 下行链路信号异常

对调制解调器的收载波电平、 E_b/N_0 、误码率进行监控，当出现异常时，排查前端节点的相关异常。

(5) 功率放大器异常

①对各模块温度/电流平均值进行监控，对各模块温

度/电流距平均值差值进行监控,通过计算时间序列的趋势,如斜率、一阶导数、二阶导数、线性拟合斜率等判别异常情况。

②功放过温状态告警提示。

③通过计算“输出功率/反射功率”值判断是否反射功率过大。

(6) 功放倒换开关异常

①监控功放选择与波导开关到位状态的一致性。

②电源模块1/电源模块2出现告警异常时,会导致功放无法正常倒换,结合功放故障状态,判别连带故障。

(7) 上/下变频器异常

①监控5/8/15 V电压趋势。

②综合监测温度趋势和风机开关,若温度升高时没有触发风机自动开机,则说明风扇出现异常。

③对单点/晶振/频综进行告警状态监控。

④15 V电压对风机进行控制,当15 V电压异常时,风机可能损坏,从而导致温度失控,表现为温度趋势异常。

⑤8 V电压是控制晶振/单点/频综的,当8 V电压异常时,晶振/单点/频综可能同时损坏。

(8) 低噪倒换开关异常

①通过各类状态告警判断自身是否异常。

②对3个电流进行对比,电流应该基本一致,计算两两电流值之差,判别异常电流。

(9) TRU跟踪接收机异常

①接收电平异常,说明跟踪状态不好。

②+5 V/+12 V/-12 V/+15 V/-15 V电压异常,波动或偏离正常值较多,提示TRU可能出现故障。

③温度异常告警。

④监控跟踪状态,若跟踪状态锁定但接收电平低,结合天气状态判别是否由于天气原因导致接收电平异常,若跟踪状态失锁且接收电平异常,则提示TRU跟踪状态出现故障。

⑤由直流供电与蓄电池电压相结合判断直流供电是否异常,再结合其他电压及锁定指标判别是否由于供电导致其他相关故障。

(10) ACU天线控制器异常

①方位位置/俯仰位置趋势异常,提示出现天线异常。

②各类限位异常。

③由天线控制器软件异常导致的接收信号异常。

结合上述常见故障模式,故障诊断及预测算法如下。

步骤1:进行单机故障诊断,包括阈值告警以及故障模式匹配。

步骤2:对系统故障指标进行监测,记录系统异常指标。

步骤3:追溯开关倒换记录,判断当前主用设备是否出现故障。

若主用设备好,备用设备坏,并且有开关倒换记录,则说明已将故障设备切换掉;

若主用设备坏,备用设备好,则倒换开关有可能发生故障,判断是否倒换开关故障;

若主用设备坏,备用设备也坏,根据倒换开关记录,判断是否由于系统故障导致主备设备先后损坏。

步骤4:对上行链路的系统故障进行相关性分析及分类,对单机故障和系统故障进行联合分析。

步骤5:对下行链路的系统故障进行相关性分析,对单机故障和系统故障进行联合分析。

步骤6:对告警提示进行故障预警。

步骤7:若故障没有恢复,则对连续时间内的故障取并集,再进行分析。

4.2.2 健康状态评估

健康状态评估分为设备健康状态评估、地面站系统健康状态评估。

(1) 设备健康状态评估

在对设备进行健康状态评估时,根据设备的各类线上及线下PHM管理数据进行评估。

①通过设备在线历史告警数据,评估最容易出现运行故障的指标,对指标进行分析,评估指标对应设备模块的状态,再分析是由于使用年限导致状态不好还是由于设计缺陷导致状态不好,从而进行进一步的维修处理。

②通过设备线下测试及维修数据,评估设备各组成单元的状态好坏,找出故障率最低的组成单元以及故障频繁发生的设备组成单元。对于多次返厂维修的设备,评估时考虑是更换新的模块还是对旧模块进行维修升级,从而评估设备内部各组成单元的使用可靠性。

③分析能代表设备当前健康状态的线上及线下指标,确定相关指标的对应权重,通过加权和计算设备当前的综合评分。

(2) 地面站系统健康状态评估

在对地面站系统进行健康状态评估时,根据设备评估结果、整站监控告警历史数据、任务执行情况数据进行综合评估。

①以设备健康评估结果为基础,对整个地面站系统健康状态进行评估,明确各个设备在系统中的重要程度,明确单设备健康状态不良对于整站系统的影响域,评估整站当前的健康状态。

②对整站的监控告警历史数据进行分析,找出频发故障数据,分析造成此类故障频发的原因,明确原因是设备状态还是站级配置不完善,从而评估整站的健康状态。

③对整站的任务执行情况数据进行分析,从任务执行能力角度,评估地面站系统的健康状态。

4.2.3 剩余寿命预测

在工程应用中,选取典型设备或关键部件进行寿命预测,根据关键指标类型的不同,将寿命预测对象分为机械/机电型对象和电子器件型对象。

(1) 机械/机电型对象

以天线的伺服电机为例,选取震动参数作为剩余寿命的指示性指标,由于震动参数的性能会随着电机性能的下降而逐步恶化,所以通过追踪震动参数的趋势变化情况,建立合适的数学预测模型,便能够对伺服电机的剩余使用寿命进行大致预测。对于其他机械/机电型管理对象,关键是要找出能够代表其性能下降的典型指标,通过对该指标进行趋势监测,预测剩余使用寿命^[4]。

(2) 电子器件型对象

对于电子器件型对象,一般很难找到能够随着使用时间增长而出现性能下降的指标,因为电子器件型指标一般具备很高的可靠性,指标参数的分布往往具备无记忆性特征,即指标的分布规律不随着时间的增长而发生变化^[5]。对于电子器件型对象,应该选取合适的指标分布规律,如指数分布、威布尔分布等,通过指标固有分布规律计算其理论寿命,再根据当前已用时间预计剩余使用寿命。

5 结束语

本文充分考虑PHM在卫星通信领域的应用阻碍,结合实际可测的各类线上及线下指标进行工程化方法研究。目前,PHM在卫星通信网领域的工程化应用研究仍然任重道远。

参考文献:

- [1] 刘恩朋, 杨占才, 靳小波. 国外故障预测与健康管理系统开发平台综述[J]. 测控技术, 2014, 33(9): 1-4.
LIU E P, YANG Z C, JIN X B. Overview of foreign prognostics and health management system development Platform[J]. Measurement & Control Technology, 2014, 33(9): 1-4.
- [2] 张凤鸣, 惠晓滨. 航空装备故障诊断学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
ZHANG F M, HUI X B. Aviation equipment fault diagnosis[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2010.
- [3] 温熙森. 模式识别与状态监控[M]. 北京: 科学出版社, 2007.

WEN X S. Pattern recognition and status monitoring[M]. Beijing: Science Press, 2007.

- [4] ZHOU Q, SON J B, ZHOU S Y. Remaining useful life prediction of individual units subject to hard failure[J]. IEEE Transaction on reliability, 2013, 62(2): 379-394
- [5] 司小胜, 胡昌华, 张琪, 等. 不确定退化测量数据下的剩余寿命估计[J]. 电子学报, 2015, 43(1): 30-35.
SI X S, HU C H, ZHANG Q, et al. Estimating remaining useful life under uncertain degradation Measurements[J]. Acta Electronica Sinica, 2015, 43(1): 30-35.

[作者简介]



雪晴 (1992-), 女, 硕士, 中国电子科技集团公司第五十四研究所工程师, 主要研究方向为卫星通信运行控制、系统健康管理。



林宇生 (1978-), 男, 博士, 中国电子科技集团公司第五十四研究所研究员, 卫星通信与广播电视专业部主任, 主要研究方向为卫星通信运行控制、卫星通信网络管理, 系统健康管理。



寇阳 (1983-), 男, 本科, 中国电子科技集团公司第五十四研究所高级工程师, 卫星通信与广播电视专业部射频技术室主任, 主要研究方向为卫星通信地球站建设及微波设备研发。



张永池 (1972-), 男, 硕士, 中国电子科技集团公司第五十四研究所研究员, 主要研究方向为卫星通信网络管理与控制。



张静 (1981-), 男, 博士, 中国电子科技集团公司第五十四研究所高级工程师, 主要研究方向为卫星通信、软件无线电、认知无线电技术方面的算法与装备。



王少飞 (1989-), 男, 硕士, 中国电子科技集团公司第五十四研究所工程师, 主要研究方向为软件无线电通信设备研制。



信通传媒

China InfoCom Media Group

助力我国科技期刊建设 激发科学共同体能量



天地一体化信息网络

2021年(第2卷)总目次

综 述

	期	编号	页码
卫星5G技术的发展和展望	翟立君, 潘洸铭, 汪春霆	1	[2021001](1)

专题：天地一体化信息网络频谱有效利用

地球站跟踪模式对NGSO-GSO系统间频率兼容性评估的影响研究			
..... 姚秀娟 董苏惠 高翔 王静 智佳 孙云龙	1	[2021002](11)	
NGSO通信星座系统间同频干扰场景与建模研究	李伟 严康 耿静茹 王文	1	[2021003](20)
星地混合移动回传系统的干扰规避和减缓技术	张晓燕 王贺	1	[2021004](28)
Ka频段“动中通”地球站操作技术要求分析	温瑞清 靳瑾 黄振	1	[2021005](35)
频谱资源从占用到有效利用之路	李辉	1	[2021006](46)
对地静止轨道卫星网络间的频率干扰分析计算问题	刘畅 魏文康 李伟	1	[2021007](52)
星链计划卫星网络资料申报情况分析	杨文翰 花国良 冯岩 李远付 侯然然	1	[2021008](60)

专题：空间组网与交换技术

面向天地一体化信息网络的星载交换技术发展现状与趋势			
..... 吴昊 王帅 邓献策 刘沛龙 刘凯 晏坚	2	[2021014](2)	
星地融合网络智能路由技术综述	曹素芝 孙雪 王厚鹏 韩佳蓉 潘思妍 闫蕾	2	[2021015](11)
低轨小卫星网络中基于编码缓存的协同传输机制研究	李健 薛开平 卢汉成	2	[2021016](20)
天地一体化信息网络中无状态地址自动配置与重复地址检测机制研究	陈雅正 李贺武	2	[2021017](28)
低轨卫星网络中业务图驱动的星间协作计算方案	国晓博 任智源 程文驰 纪哲	2	[2021018](35)

专题：天地一体化信息网络传输技术

天地一体化信息网络光电混合交换技术研究	赵尚弘 彭聪 李勇军 李海	2	[2021019](46)
天地一体化信息网络中信号光束偏移对卫星混沌激光安全通信系统性能影响			
..... 李密 陈强 曾丞 汪学 王祎思 陈向飞	2	[2021020](53)	
PPM调制光纤耦合多孔径接收系统性能研究	李康宁 冯旭 高建文 马晶	2	[2021021](62)

面向星地激光通信的光功率动态均衡技术研究·····	蔡岳丰 刘海锋 刘 波 林 炜	2	[2021022](69)
---------------------------	-----------------	---	---------------

专题：天地一体化信息网络安全防护技术

面向多类型终端的天地一体化信息网络接入与切换认证机制研究·····			
·····	曹 进 陈李兰 马如慧 李 晖 李凤华	3	[2021026](2)
基于零信任的卫星互联网安全防护研究·····	宋宇飞 周文辉 刘建东 李新鹏	3	[2021027](15)
面向卫星网络断续连通场景的接入和切换认证机制·····			
·····	石小平 马如慧 曹 进 李 晖 陈李兰 李凤华	3	[2021028](24)
基于进程通信语义的互联安全控制安全分析和优化·····	卢 波 陆月明	3	[2021029](35)
基于区块链的天地一体化信息网络非交互式密钥交换方法·····			
·····	刘梦如 付玉龙 曹 进 李 晖	3	[2021030](48)
基于网络安全知识图谱的天地一体化信息网络攻击研判框架·····			
·····	亓玉璐 江 荣 荣 星 李爱平	3	[2021031](57)
基于模板解析的天地一体化信息网络用户行为流量回放技术·····	薛青松 王晓锋	3	[2021032](66)

专题：面向6G的天地一体化信息网络

面向6G的天地一体化信息网络架构研究 ·····	徐 晖 孙韶辉	4	[2021037](2)
低轨卫星物联网体系架构及关键技术研究·····	丁晓进 洪 涛 刘 锐 彭文滔 张更新	4	[2021038](10)
空天地一体化网络研究现状与新技术的应用展望·····	张晓凯 郭道省 张邦宁	4	[2021039](19)
面向6G卫星物联网的帧内干扰消除随机接入技术研究 ·····	徐 誉 郭 庆	4	[2021040](27)
融合NB-IoT的低轨卫星物联网随机接入研究 刘昊东 郑 重 王闻今 尤 力 高西奇		4	[2021041](34)
星地网络中基于感知的频谱共享方法·····	胡 婧 边东明 田 湘 朱银霞 张 剑	4	[2021042](43)
基于下行NOMA的多波束卫星通信稳健波束成形算法 ·····			
·····	阚鹏程 王子宁 孔槐聪 欧阳键 林 敏	4	[2021043](53)
基于条件神经过程的星上多用户检测算法·····	刘轶伦 金 亮 李佳立 朱立东	4	[2021044](60)

专题：卫星互联网运行控制与管理

高低轨卫星异构网络资源管控策略与技术研究·····	张美蓉 镐梦婷 王 闯 张更新	4	[2021045](67)
智能化卫星互联网运维与管理：现状与机遇·· 唐斯琪 潘志松 胡谷雨 吴 炀 李云波		4	[2021046](75)
天地一体化信息网络高速传输协议设计与若干关键技术研究·····			

..... 班亚明 郑 浩 刘 喆 董思洋	4	[2021047](84)
基于工程化方法的卫星通信地面站系统平台健康管理研究.....		
..... 雪 晴 林宇生 寇 阳 张永池 张 静 王少飞	4	[2021048](93)

研 究

基于MBSE的卫星通信系统建模与仿真	李文屏 白鹤峰 赵 毅 武磊磊 王晓婷	1	[2021009](69)
卫星频率轨位资源全球竞争态势与对策思考.....	兰 峰 彭召琦	2	[2021023](75)
智能一体化航天测运控网络发展探析.....	张 威 吴 涛 马 宏 焦义文 蔡 洋	2	[2021024](82)
基于混合波束赋形的低轨通信卫星相控阵天线架构研究.....			
.....	胡 荣 李秀梅 邓 娟 周 骏 董姝婧 刘 玲 马文英	2	[2021025](90)
软件定义卫星光网络跨层路由波长算法研究.....	李 海 赵尚弘 李勇军 彭 聪	3	[2021033](76)

应 用

海洋交通运输行业卫星通信应用需求分析·····	李 振 赵玉民 薛广月 艾云飞 刘法龙	1	[2021010](75)
天基物联网发展与应用关键问题初探·····	刘永健 李斌成 王妍哲	1	[2021011](81)
云边端协同的天空地一体气象信息处理及智能服务研究·····			
·····	舒红平 唐 旺 罗 飞 赵卓宁 王亚强	1	[2021012](87)
天地一体化信息网络在铁路领域的应用展望·····			
·····	王开锋 开祥宝 李 明 高 媛 刘 运 柴金川	1	[2021013](93)
基于SysML的卫星通信系统设计与验证研究 ·····	廖 灿 赵 天 冯 旭 肖双爱	3	[2021034](81)
基于云服务的地面信息港典型应用探索·····	王金杰	3	[2021035](89)
天地一体化PNT政策法规与标准体系建设探讨 ·····	柳 罡 郑作亚 薛庆昊 王 垚	3	[2021036](96)

Space-Integrated-Ground Information Networks

Contents List Vol.2 (2021)

Review

	No.	Pages
Development and Prospect of Satellite 5G Technology		
..... ZHAI Lijun, PAN Shuming, WANG Chunting	1	[2021001](1)

Topics: Effective Utilization of Spectrum in Space-Integrated-Ground Information Network

Research on the Influence of Earth Station Tracking Modes on Frequency Compatibility Evaluation Between NGSO-GSO Systems	YAO Xiujuan, DONG Suhui, GAO Xiang, WANG Jing, ZHI Jia, SUN Yunlong	1	[2021002](11)
Research on Scenarios and Modeling of Co-Frequency Interference Between NGSO Communication Constellation Systems	LI Wei, YAN Kang, GENG Jingru, WANG Wen	1	[2021003](20)
Interference Avoidance and Mitigation Techniques for Hybrid Satellite-Terrestrial Mobile Backhaul System	ZHANG Xiaoyan, WANG He	1	[2021004](28)
Analysis of Technical and Operational Requirements for Earth Stations in Motion in Ka-band	WEN Ruiqing, JIN Jin, HUANG Zhen	1	[2021005](35)
From Frequency Spectrum Occupation to Efficiently Utilization	LI Hui	1	[2021006](46)
Frequency Interference Analysis and Calculation of Geostationary-Orbit Satellite Network	LIU Chang, WEI Wenkang, LI Wei	1	[2021007](52)
Analysis of the Starlink Satellite Network Filing Application	YANG Wenhan, HUA Guoliang, FENG Yan, LI Yuanfu, HOU Ranran	1	[2021008](60)

Special Issue: Space Networking and Switching Technology

On-Board Switching for Space-Integrated-Ground Information Network: Progress and Trends	WU Hao, WANG Shuai, DENG Xiance, LIU Peilong, LIU Kai, YAN Jian	2	[2021014](2)
Review of Intelligent Routing Technology in Integrated Satellite-Ground Network	CAO Suzhi, SUN Xue, WANG Houpeng, HAN Jiarong, PAN Siyan, YAN Lei	2	[2021015](11)
Research on Coded Caching-Enabled Cooperative Transmission Mechanism in LEO Small Satellite Network ...	LI Jian, XUE Kaiping, LU Hancheng	2	[2021016](20)
Research on Stateless Address Auto-Configuration and Duplicate Address Detection in Space-Integrated-Ground Information Network	CHEN Yazheng, LI Hewu	2	[2021017](28)
Inter-Satellite Cooperative Computing Scheme Driven by Business Graph in LEO Satellite Network	GUO Xiaobo, REN Zhiyuan, CHENG Wenchi, JI Zhe	2	[2021018](35)

Special Issue: Transmission Technology of Space-Integrated-Ground Information Network

Research on Optical/Electric Hybrid Switching Technique for Space-Integrated-Ground Information Network ...

..... ZHAO Shanghong, PENG Cong, LI Yongjun, LI Hai	2	[2021019](46)
Effect of Optical Signal Beam Shift on the Performance of Satellite Chaos Laser Safety Communication System under Space-Integrated-Ground Information Network		
..... LI Mi, CHEN Qiang, ZENG Cheng, WANG Xue, WANG Yisi, CHEN Xiangfei	2	[2021020](53)
Research on Performance of Fiber-Based Multiple Apertures Receiver System with PPM Modulation		
..... LI Kangning, FENG Xu, GAO Jianwen, Ma Jing	2	[2021021](62)
Research on Dynamic Equalization of Optical Power for Satellite-Ground Laser Communication.....		
..... CAI Yuefeng, LIU Haifeng, LIU Bo, LIN Wei	2	[2021022](69)

Special Issue: Security Protection Technology for Space-Integrated-Ground Information Network

Research on Access and Handover Authentication Mechanism of Space- Integrated-Ground Information Network for Multi-Type Terminals			
CAO Jin, CHEN Lilan, MA Ruhui, LI Hui, LI Fenghua	3	[2021026](2)	
Research on Satellite Internet Security Protection Based on Zero Trust			
SONG Yufei, ZHOU Wenhui, LIU Jiandong, LI Xinpeng	3	[2021027](15)	
Access and Handover Authentication in Intermittent Connection Scenario of Satellite Network			
SHI Xiaoping, MA Ruhui, CAO Jin, LI Hui, CHEN Lilan, LI Fenghua	3	[2021028](24)	
Optimization and Security Analysis of Interconnected Security Control Based on Semantic of Process Communication			
LU Bo, LU Yueming	3	[2021029](35)	
A Non-interactive Key Exchange Scheme for Space-Integrated-Ground Information Network Based on Blockchain ...			
LIU Mengru, FU Yulong, CAO Jin, LI Hui	3	[2021030](48)	
Attack Analysis Framework of Space-Integrated-Ground Information Network Based on Cybersecurity Knowledge Graph			
QI Yulu, JIANG Rong, RONG Xing, LI Aiping	3	[2021031](57)	
User Behavior Traffic Replay Technology for Space-Integrated-Ground Information Network Based on Profile Analyzing			
XUE Qingsong, WANG Xiaofeng	3	[2021032](66)	

Special Issue: 6G-Oriented Space-Integrated-Ground Information Network

Research on Network Architecture for the Space-Integrated-Ground Information Networks in 6G	<i>XU Hui, SUN Shaohui</i>	4	[2021037](2)
Research on Architecture of LEO Satellite Internet of Things and Key Technologies	<i>DING Xiaojin, HONG Tao, LIU Rui, PENG Wentao, ZHANG Gengxin</i>	4	[2021038](10)
Research Status of Space-air-ground Integrated Network and Application Prospects of New Technologies.....	<i>ZHANG Xiaokai, GUO Daoxing, ZHANG Bangning</i>	4	[2021039](19)
Research on Random Access Technology of Inter-frame Interference Cancellation for 6G Satellite Internet of Things	<i>XU Yu, GUO Qing</i>	4	[2021040](27)
Research on the NB-IoT Random Access in LEO Satellite IoT	<i>LIU Haodong, ZHENG Zhong, WANG Wenjin, YOU Li, GAO Xiqi</i>	4	[2021041](34)
Sensing-Based Spectrum Sharing Method in Satellite-Terrestrial Network	<i>HU Jing, BIAN Dongming, TIAN Xiang, ZHU Yinxia, ZHANG Jian</i>	4	[2021042](43)

Robust Beamforming Algorithm for Multibeam Satellite Communication Based on Downlink NOMA			
..... KAN Pengcheng, WANG Zining, KONG Huaicong, OUYANG Jian, LIN Min	4	[2021043](53)	
On-board Multi-user Detection Algorithm Based on Conditional Neural Process			
..... LIU Yilun, JIN Liang, LI Jiali, ZHU Lidong	4	[2021044](60)	

Special Issue: Satellite Internet Operation Control and Management

Research on Strategies and Technologies for Resource Management and Control of Heterogeneous Network of High and Low Orbit Satellites	ZHANG Meirong, HAO Mengting, WANG Chuang, ZHANG Gengxin	4	[2021045](67)
Intelligent Satellite Internet Maintenance and Management: Progress and Opportunities.....	TANG Siqi, PAN Zhisong, HU Guyu, WU Yang, LI Yunbo	4	[2021046](75)
Research on Key Technologies and Design of High-speed Transmission Protocol in Space-Integrated-Ground Information Network	Ban Yaming, Zheng Hao, Liu Zhe, Dong Siyang	4	[2021047](84)
Research of Health Management on Satellite Communication Earth Station Platform Based on Engineering-Oriented Method	XUE Qing, LIN Yusheng, KOU Yang, ZHANG Yongchi, ZHANG Jing, Wang Shaofei	4	[2021048](93)

Studies

Modeling and Simulation of Satellite Communication System Base on MBSE	LI Wenping, BAI Hefeng, ZHAO Yi, WU Leilei, WANG Xiaoting	1	[2021009](69)
The Global Competitive Situation and Strategy of Space Frequency and Orbit Resources	LAN Feng, PENG Zhaoqi	2	[2021023](75)
Discussion on the Development of Integrated and Intelligent Space TTC&OC Network	ZHANG Wei, WU Tao, MA Hong, JIAO Yiwen, CAI Yang	2	[2021024](82)
Research on the Architecture of Phased Array Antenna of LEO Communication Satellites Based on Hybrid Beamforming	HU Rong, LI Xiumei, DENG Juan, ZHOU Jun, DONG Shujing, LIU Ling, MA Wenying	2	[2021025](90)
Research on Wavelength Algorithm for Cross-Layer Routing in Software Defined Satellite Optical Network.....	LI Hai, ZHAO Shanghong, LI Yongjun, PENG Cong	3	[2021033](76)

Applications

The Requirements Analysis of Satellite Application in Marine Transportation Industry	LI Zhen, ZHAO Yumin, XUE Guangyue, AI Yunfei, LIU Falong	1	[2021010](75)
Key Issues in Development and Application of the Sky-Based Internet of Things	LIU Yongjian, LI Bincheng, WANG Yanzhe	1	[2021011](81)
Research on Cloud-Side Collaborative Meteorological Information Processing and Intelligent Services	SHU Hongping, TANG Wang, LUO Fei, ZHAO Zhuoning, WANG Yaqiang	1	[2021012](87)
Application Prospect of Space-Integrated-Ground Information Network in Railway	WANG Kaifeng, KAI Xiangbao, LI Ming, GAO Yuan, LIU Yun, CHAI Jinchuan	1	[2021013](93)
Research on Satellite Communication System's Design and Verification Based on SysML			

.....	<i>LIAO Can, ZHAO Tian, FENG Xu, XIAO Shuangai</i>	3	[2021034](81)
Investigation on Typical Cases of the Ground Information Port Based on Cloud Service	<i>WANG Jinjie</i>	3	[2021035](89)
Discussion on the Construction of PNT Policies, Regulations and Standard System			
.....	<i>LIU Gang, ZHENG Zuoya, XUE Qinghao, WANG Yao</i>	3	[2021036](96)

收录声明

本刊对发表的文章，拥有出版电子版、网络版版权，并拥有和其他网站交换信息的权利。本刊支付的稿酬中已经包含上述费用。

Space-Integrated-Gound Information Networks has the copyright to publish electronic edition, online edition of the published articles, and has the right to exchange information with other sites. The expenses have been included in the fee paid by editorial department.

道德声明

本刊发表的论文是作者独立取得的原创性研究成果，无一稿多投；论文内容不涉及国家机密；未曾以任何形式用任何文种在国内外公开发表过；论文内容不侵犯他人著作权和其他权利。若发生一稿多投、侵权、泄密等问题，论文作者将承担全部责任。

The authors of *Space-Integrated-Gound Information Networks* guarantee that their submitted articles are original and contain nothing confidential. The said article is only submitted to *Space-Integrated-Gound Information Networks*. The said article has not been published before and has not been submitted elsewhere for print or electronic publication consideration. The said article is no way whatever a violation or an infringement of any existing copyright or license from the third party. Otherwise, the authors of the said article shall take the blame for the violation or infringement of the related copyright and the leakage of secrets.

天地一体化信息网络

Space-Integrated-Ground Information Networks



ISSN 2096-8930



发行代号：国内80-791 2021年12月20日出版 定价：60.00元