

测量船卫星通信多路频谱在线监视系统设计与实现

周锦标 赵乾宏 刘明波

(中国卫星海上测控部 江阴 214431)

摘要:介绍了测量船船载卫通站多路频谱监视系统的设计和实现过程,说明了系统总体设计思路,给出了由“变频与校准+频谱分析+显示与控制”等单元模块组成的系统硬件设计结构。根据系统要求并结合实际情况,介绍了综合测试软件的设计思路,实现了对测量船船载卫星通信多路频谱信号的在线监视功能,实时对船载C、Ku/Ka卫通站射频信号进行分析检测,采用LAN方式实时分发测试数据和报警信息,达到了对整个系统和设备性能的监视、检测和对故障(含瞬发故障)的定位与隔离,提高了卫星通信分系统的可靠性、可维修性,有力的保障了分系统的安全可靠运行。测试表明,系统设计简洁,工作稳定可靠,满足功能需求。

关键词: 船载;卫星通信;频谱分析;综合测试

中图分类号: TP2;TN609 **文献标识码:** B **国家标准学科分类代码:** 510

Design and implementation of online multichannel spectrum monitoring system in the surveying vessel's satellite communication

Zhou Jinbiao Zhao Qianhong Liu Mingbo

(China Satellite Maritime Tracking and Commanding ministry, Jiangyin 214431, China)

Abstract: This article introduces the design and implementation process of the vessel ship satcom stations multiplex spectrum monitoring system, introduces the overall design ideas, gives the system hardware design structure composed of frequency conversion and calibration + frequency spectrum analysis and calibration + display and control. According to the system requirements and combined with actual situation, this paper introduces the design idea of comprehensive test software which realizes the capabilities of ship borne satellite communications multi-channel spectrum signal's on-line monitoring with vessel, real-time analysis and testing RF signal of ship borne C, Ku/Ka satcom station, real-time distributing test data and alarm information using LAN. The system improves the reliability and maintainability of the satellite communication system, and gives strong guarantee for safe and reliable operation of the system. Tests show that the system design is simple, stable and reliable, meets the functional requirements.

Keywords: ship borne; satellite communication; spectrum analysis; comprehensive test

1 引言

测量船船载卫星通信系统是非常复杂的综合性系统,包含C、Ku、Ka三个频段,涉及调制解调、变频、功放、天线、跟踪等多个频段和技术领域。高密度任务态势下,测量船密集出海执行任务,卫星通信作为岸船间通信的主要手段,其设备的有效性和可靠性显得非常重要。长时间出海情况下,卫星通信系统和各个分机在运行过程中不可避免的会发生故障或者由于设备老化导致设备指标下降甚至出现故障,预测设备指标下降、故障的发生、检测出故障的发生位置是维持系统正常运行的关键。因此,有必要在船载卫通站运行过程中,实时监视其各节点频谱信息,根据数据分析

结果,预先估计哪些系统设备可能会产生故障,为各种故障预判提供操作的可行性,提高系统的维修效率,进而提高系统运行的稳定性和可靠性。

目前,国内外已有关于卫星通信信号频谱在线监视的深入研究和成熟应用,在信号传输链路中设置若干个独立的测试点,使用频谱仪等测试仪器进行实时监视,实现了对各类通信信号频谱的在线实时监视和预警功能^[1]。由于测试点间独立工作,没有信息交互、参数比对以及综合分析,因此,只能简单获取卫星通信各分系统工作状态,对卫通站的整体工作性能缺乏监测手段,且还没有关于船载卫星通信信号频谱监视系统设计和实现的相关报道。

2 总体设计

测量船多路卫星通信频谱在线监视系统实时获取船载卫通站中各个监测节点的频谱信息,分析比对各个频谱数据特征,实时掌握卫通站各设备运行状态,当出现信号异常

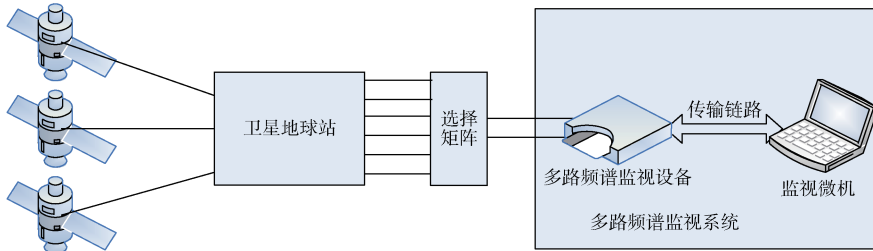


图1 多路频谱在线监视系统总体框图

从图1中可以看出,本监测系统由硬件和软件两部分组成。其中,系统硬件部分由选择矩阵、多路频谱监视设备以及监视微机组成。选择矩阵将输入的多路卫星信号分路、切换到多路频谱监视设备上,可实现多路信号的在线测试功能,本系统设计中采用船载卫星通信系统自带的多路信号选择矩阵;多路频谱监视设备和监视微机是系统核心,主要完成频谱信号的采集、处理、分析、显示以及异常报警等功能。系统软件部分由运行在多路频谱监视设备和监视微机上的硬件程序和软件程序组成。

船载卫星通信频谱监视系统通过对船载卫通站多个测

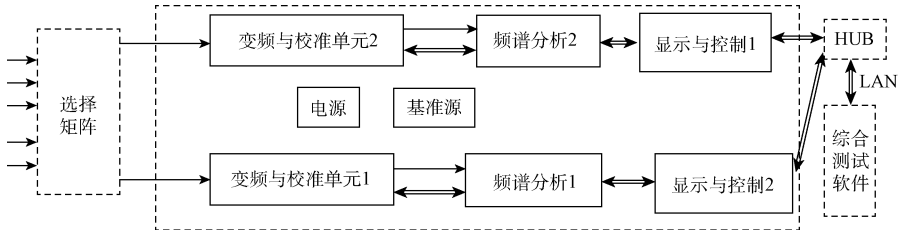


图2 频谱监测设备组成

3.1 变频与校准单元

变频与校准单元将输入信号频率变换到360 MHz中频,完成变频、增益调整、滤波等功能,接受本通道的频谱分析模块的控制,将中频信号与模块状态送本通道的频谱分析模块。产生校准信号,标校通道的滤波器中心与通道增益。

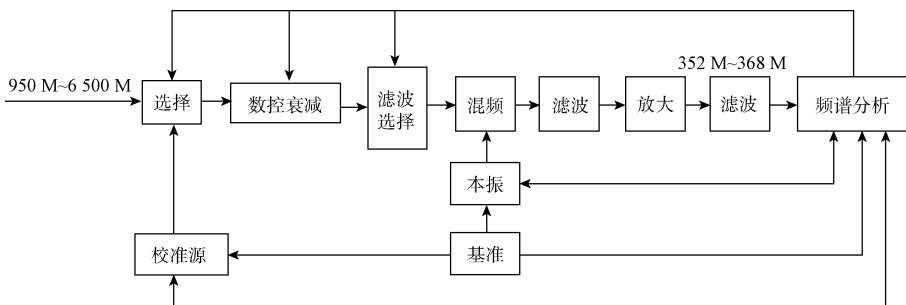


图3 变频器模块组成结构

时,及时通过声音、消息等方式提醒操作人员注意,实现了对卫星通信系统设备故障的预先判断和处置,为不间断通信提供支持。多路卫通站的频谱监视系统主要包括信号选择矩阵、多路频谱监视设备、远程监视分析软件等组成^[2],总体设计如图1所示。

试点频谱状态的监视,能够详细掌握调制解调器、上下变频器、功率放大器等设备运行状态,经过综合分析,可以大致了解卫通站的总体工作性能,为设备维护、检修提供依据。

3 系统实现

如前所述,系统设计核心为多路频谱监视设备以及运行程序,其中,监视设备主要由变频与校准单元、实时频谱分析单元、监控单元、基准源、电源、机箱结构等组成,运行程序主要由ARM软件、DSP软件、FPGA软件、微处理器软件以及上位机软件等组成。通用结构组成如图2所示。

C频段与Ku/Ka频段的变频与校准采用统一的组成结构,适应于C频段的7.3 m、3.8 m卫通站与2.4 m的Ku/Ka频段卫通站,Ku/Ka频段的信号在外部混频到2.2~4.5 GHz后经过矩阵送到频谱监测设备,所以变频与校准的实际输入频率范围为950~6 500 MHz。变频与校准单元的组成结构如图3所示。

图 3 中,选择器、数控衰减器、本振频率、滤波选择等模块受频谱分析单元的控制,选择合适的设置完成频率变换与滤波放大;选择器在本通道频谱分析单元的控制下选择输入信号或校准信号进行后续的滤波与变频,校准源仅在开机或由频谱分析启动时进行通道的滤波器中心、通道增益的校准;数控衰减器完成输入信号的衰减,衰减范围为 0~30 dB,步进 0.5 dB;滤波选择器完成输入信号的窄带选择,抑制混频器的镜像频率;本振采用频率综合器实现,保证高频率稳定性、低相噪、低杂散的同时,提供快速的频率切换时间;基准采用高稳定性恒温晶振或铷钟,给本振、校准源、频谱分析提供基准。

3.2 频谱分析单元

频谱分析单元完成输入信号的频谱分析,将频谱分析的结果送本通道的监控显示,接受本通道监控对需要分析的信号的频率、分辨率、带宽等参数的分解并设置到变频器。控制校准模块,完成本通道的标校。

频谱分析单元硬件采用“核心板+扩展板”的模式实现,核心板通过总线形式与扩展板连接。核心板完成频谱分析单元的主体功能,其硬件采用软件无线电原理设计,构建了以 FPGA 与 DSP 为核心的数字信号处理电路。其硬件组成如图 4 所示。

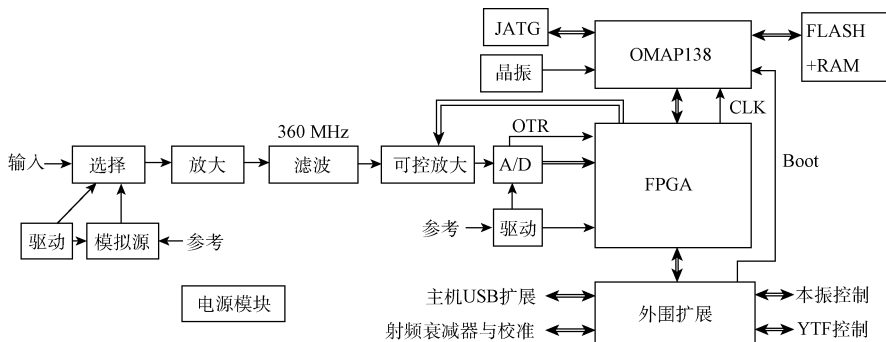


图 4 频谱分析单元的核心板硬件组成

图 4 中,FPGA 完成下变频(多种降采样、滤波选择)、频谱检测(采用快速傅里叶变换(FFT))、对外接口等功能,配置程序与 OMAP 共用一块 FLASH,由 DSP 负责装载;OMAP 内部 DSP 控制与配置下变频器实现宽带频谱分析,进行 VBW 的 IIR 滤波、幅度校准、频率校正、存储、补偿、抽取合适的频点送监控等功能,宽带频谱分析时,产生扫频信号,负责将检波幅度信号对数转换与校正;OMAP 内部 ARM 完成本通道的监控功能,负责频谱显示、接收本地控制信息,配置芯片的所有外设,配置射频通

道,负责通过 EMAC 与总监控通信,通过 USB 连接外部存储器;A/D 转换采用 AD 公司的 AD9266 芯片,采样频率为 50 MHz,对 360 MHz 信号进行带通采样;参考晶振采用 24 MHz 的晶振单元,同时作为 USB、UART 等的外设时钟;滤波器采用 360 MHz 声表面波滤波器,带宽为 16 MHz;模拟源采用频率合成器实现本单元的滤波器、衰减器、通道增益的校准^[2]。

频谱分析单元的扩展板是频谱分析模块的对外接口部分,其硬件组成如图 5 所示。

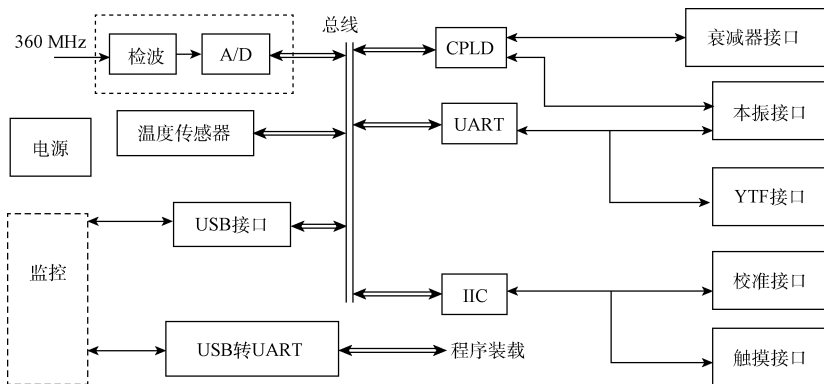


图 5 扩展板原理组成

监控信息通过 USB 扩展为两路后连接频谱分析单元扩展板,一路 USB 经过转换后变为 UART 接口,用于装载

频谱分析的软件;另一路 USB 通过接口芯片连接频谱分析的总线,用于监控与频谱分析的通信。扩展板总线通过扩

展 UART 通信器件、CPLD 芯片扩展后 I/O 控制下变频的本振、控制下变频器衰减器、控制 YTF 频率选择的接口;扩展板总线通过扩展 IIC 后控制校准的接口、触摸屏接口等,从而完成对变频通道的设置与触摸状态监视。

频谱分析单元按照实现的硬件分为 ARM 软件、DSP 软件、FPGA 软件、微处理器软件,这样分配并不能准确反映内部软件模块的构成^[3],频谱分析显示的许多功能是由两个以上的处理器联合实现的。由于单元内部采用的 OMAP 芯片内部包含 ARM 处理器、DSP 处理器、FPGA 处理器,所以频谱分析单元的软件由 ARM 软件、DSP 软件、FPGA 软件 3 部分组成,它们一同存储在核心板的 FLASH 芯片中^[4]。

核心板上电或复位后,ARM 装载软件(BOOT)率先启动,装载软件从 FLASH 中读取 DSP 程序设置到芯片内部 RAM 中,从 FLASH 中读取 ARM 程序设置到芯片外部 RAM 中,从 FLASH 中读取 FPGA 程序设置到 FPGA 芯片。然后分别启动 DSP、FPGA、FPGA 程序,进入正常的工作流程^[5]。FLASH 中存储的程序,可以使用 JATG 进行烧写,也可以通过监控的 USB 口转为 UART 后进行烧写。

3.3 显示与控制单元

显示与控制单元采用带液晶的计算机板,安装 windows CE/LINUX 操作系统。主要用于显示信号的频谱,设置与显示内部各模块的状态,对信号频谱进行选定的处理。单元组成如图 6 所示,主要由 ARM 微处理器、TFT 液晶显示屏(LCD)、触摸检测、LAN 通信接口、扩展 USB 口与频谱分析模块接口等组成^[6]。

频谱监测机箱采用两块相同的 7 in 彩色触摸屏(800×480 点)。液晶屏内显示本通道的功能菜单、频谱、内部参数,通过触摸功能与级联菜单设置本通道的工作频

率、SPAN、RBW、VBW 等参数内部工作参数。并通过触摸可以直接对菜单进行操作。

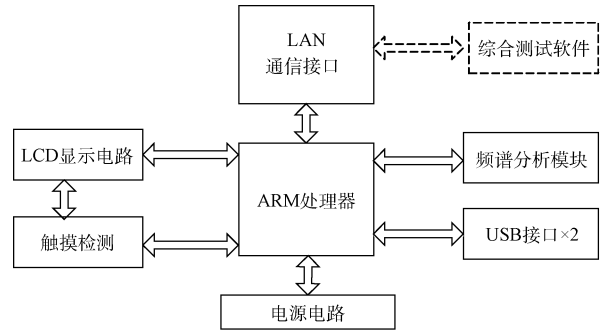


图 6 显示与控制单元的组成

显示与控制单元通过 LAN 可以接受上位机综合测试软件控制,并将工作参数、频谱、状态等信息实时上报。

3.4 综合测试软件

综合测试软件根据用户操作可以实现对卫星通信链路和设备的在线测试及离线测试,查看必要的历史记录数据等^[7]。综合测试软件部署运行在综合测试计算机上,通过局域网实现与系统内外其他设备或软件之间的相互通信。

根据系统要求并结合实际情况,综合测试软件需要直接管理频谱仪、信号源、网络分析仪、综合矩阵设备、多路频谱监视设备等多类多台设备,其他设备(天线等)的测试管理通过与其他软件的外部接口实现。目前以上设备均支持局域网方式控制管理。

根据要求,综合测试软件除要管理相关仪器设备之外,还要实现必要的外部接口功能(直接接口或间接接口),包括与站内监控、与网管接口、与二级网管接口等。根据这些要求,综合测试软件的组成方案如图 7 所示。

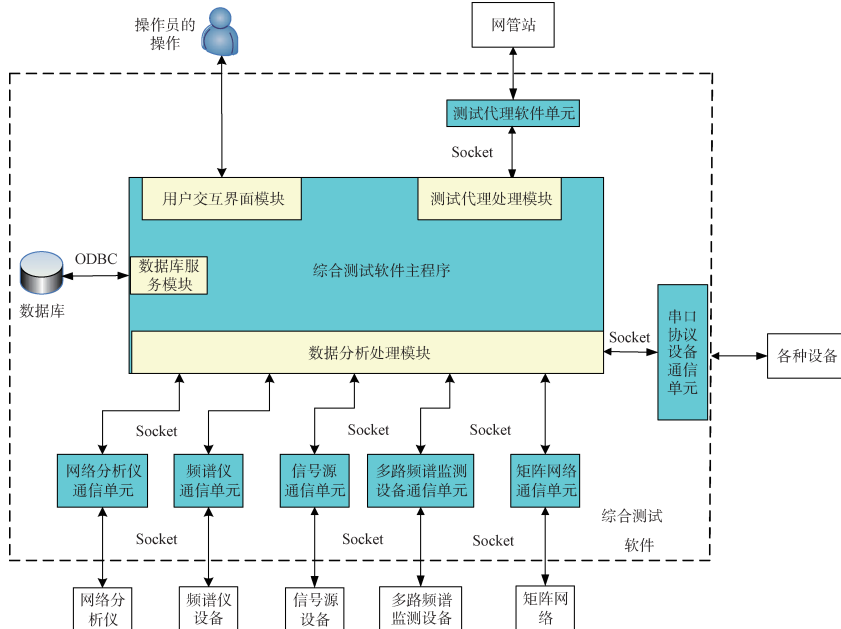


图 7 综合测试软件组成方案

4 系统测试

根据需求,本系统在车载 3 套卫通站中设计了 17 个监测点,完成对卫通各节点频谱信号的状态监视功能。监测点在不影响通信的基础上进行在线测试,因此监测点需要引出信号。为增加监测点的测试灵活性,监测点的输入与输出连接到矩阵网络。对每个监测点都有接入损耗小、幅频特性波动小、可靠性高等要求。综上所述,监测点至少

需要输出端、输入端。

一般来说,接入测试点的方式可以分为 3 种模式^[8]:1)分路器、合路器、开关加矩阵模式;2)定向耦合器、开关、加矩阵模式;3)纯矩阵模式。如图 8 所示。

结合车载设备实际情况,综合考虑图 8(a)、(b)、(c)三个方案,在都能满足测试点的在线监测与离线监测的基础上,图 8(b)所示方案以插入损耗小、可靠性高的优势成为监测点的最佳接入方案^[7]。

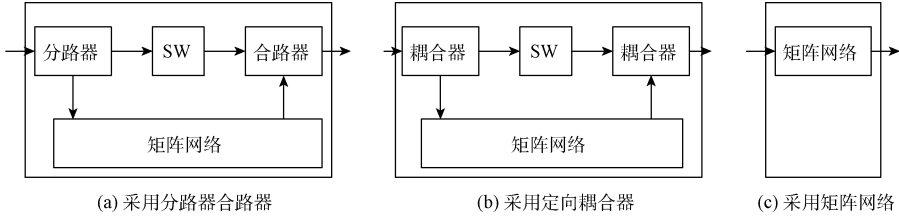


图 8 综合矩阵在线监测的原理设计

从通信通道的多个监测点经过矩阵开关选择其中两路,然后在多路频谱分析设备中同时变频同时频谱分析同时在一个显示屏监测的设备,可以方便的查找发送通道设

备与接收通道设备的故障、分析通道设备的性能^[8]。显示效果如图 9 所示,详细测试结果见表 1 所示。

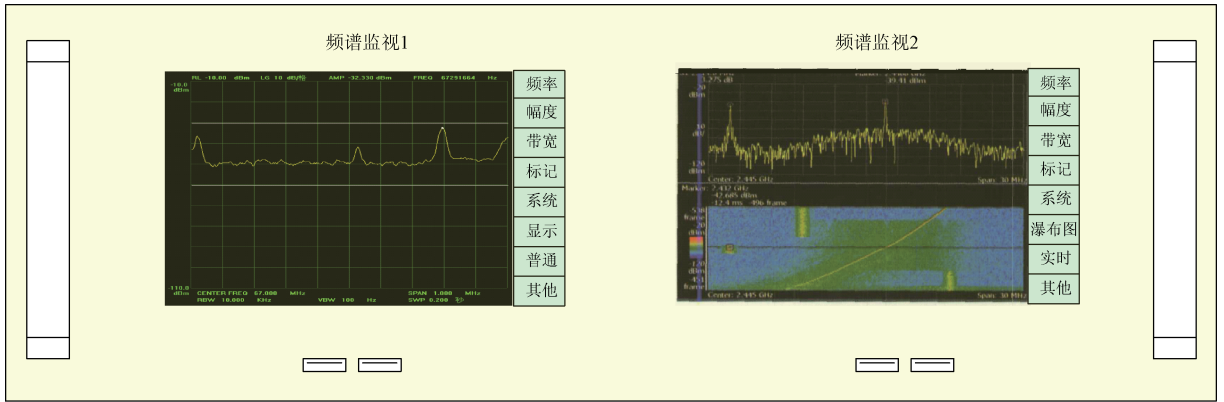


图 9 多路频谱监测的面板显示效果

表 1 测试功率精度与频率分辨率测试表

序号	检验项目	单位	技术要求	测试记录		
1	7.3 m C 卫通站设备 频谱分辨率	Hz	<300	频谱仪	实测值	1 195 649 808
				通道 1	实测值	1 195 650 002
					相对误差	194
				通道 2	实测值	1 195 650 077
2	7.3 m C 卫通站设备 功率精度	dBm	<1.5	频谱仪	实测值	-34.53
				通道 1	实测值	-33.78
					相对误差	0.75
				通道 2	实测值	-33.23
3	3.8 m C 和 2.4 m Ku/Ka 卫通站设备 频谱分辨率	Hz	<300	频谱仪	实测值	4 199 819 940
				通道 1	实测值	4 199 820 090
					相对误差	150
				通道 2	实测值	4 199 820 135
4	3.8 m C 和 2.4 m Ku/Ka 卫通站设备 功率精度	dBm	<1.5	频谱仪	实测值	-91.25
				通道 1	实测值	-90.01
					相对误差	1.24
				通道 2	实测值	-89.95
				相对误差	1.3	

从测试结果来看,系统支持船载 C、Ku/Ka 频段信号接收功能,支持手动或触发单次以及连续扫频分析模式,双信号三阶失真为 -60 dB (-15 dBm 双信号间隔 300 kHz 输入),噪声系数优于 15 dB,频谱分辨率和功率精度均满足设计指标要求,满足船载卫通设备需求。

5 结 论

测量船船载卫星通信多路频谱在线监视系统采用了在线频谱监测模式,实时对船载 C、Ku/Ka 卫通站射频信号进行分析检测,采用 LAN 方式实时分发测试数据和报警信息,达到了对整个系统和设备性能的监视、检测和对故障(含瞬发故障)的定位与隔离,提高了卫星通信分系统的可靠性、可维修性,有力的保障了分系统的安全可靠运行。

参考文献

- [1] 龚军涛,曹春燕,刘刚.电磁频谱监视卫星对地面雷达信号截获概率分析[J].电子信息对抗技术,2009,24(1):43-45.
- [2] 龚军涛,刘刚,陈哪.频谱监视卫星截获地基雷达信号的特性分析[J].中国电子科学研究院学报,2009,4(1):54-58.

- [3] 张有志,丁娇,左鹏,等.一种卫星频谱监测系统的设计与实现[J].数字通信世界,2016(3):1-5.
- [4] 刘彦明.一种卫星转发器上下行频谱监测系统设计与实现[J].电子技术与软件工程,2015(12):100-102.
- [5] 汪宏武,鄂志东.计算机辅助频谱监测系统在卫星通信系统中的应用[J].卫星与网络,2006(4):50-51.
- [6] 邹建国,修威.空间无线链路的 TCP 协议加速和优化研究[J].仪器仪表学报,2007,28(8):372-379.
- [7] ETSI, EN 302 307 V1, 2, 1, Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)[S]. 2009.
- [8] 何献武,郑军.频谱侦察卫星截获空间辐射源关键技术研究[J].战术导弹技术,2010(5):53-57.

作者简介

周锦标,1966 年出生,硕士学位,高级工程师,主要研究方向为海上航天测控总体。

E-mail:mingbo2006@163.com

(上接第 113 页)

- [10] 王杰,何建新.基于 LabVIEW 的新一代天气雷达测试与故障诊断系统设计[J].气象科技,2012,40(6):902-905.
- [11] 汪俊,高玉春.虚拟仪器在天气雷达接收机测试中的应用[J].气象科技,2013,41(6):998-1002.
- [12] 舒毅,李宏图,林岚,等.CINRAD/SA 雷达天线座动态故障分析[J].气象科技,2016,44(2):192-196.

作者简介

舒毅,1986 年出生,工学学士,大学本科,2010 年于成都信息工程大学获得学士学位,现为福建省泉州市气象局工程师,主要研究方向为天气雷达技术保障与应用。

E-mail:237949334@qq.com